



双口门布置的岛式防波堤建设

李达华, 刘志坚, 许建武, 徐鹏

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 针对峡湾湾口防波堤建设面临的水上作业空间狭窄和通航保障难度大的问题, 以某防波堤工程为例, 通过分析双口门平面布置方案及结构特点, 采用水下平升法分层向上、水上端进法全面推进的水陆结合抛填成堤施工工艺, 以及合理的通航管控措施。经工程实践, 解决了施工难题, 确保项目的顺利实施。研究表明: 与突堤式设计相比, 双口门布置的岛式防波堤在提升通航效率和保持湾内水体自净方面更具优势, 可为类似工程提供参考。

关键词: 口门; 岛式防波堤; 通航管理

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0338-05

Construction of island breakwater with double door layout

LI Dahua, LIU Zhijian, XU Jianwu, XU Peng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: To the problems of narrow water operation space and difficult navigation guarantee faced by the construction of breakwater at the mouth of the fjord. Taking a breakwater project as an example, this paper analyzes the plane layout plan and structural characteristics of the double door, adopts the construction technology of water and land combined with throwing and filling into embankments, which is comprehensively promoted by the underwater lifting method and the water end entry method, as well as reasonable navigation control measures. Through engineering practice, the above construction problems are solved to ensure the smooth implementation of the project. The research results show that compared with the design of a protruding breakwater, the island breakwater with double door layout has more advantages in improving navigation efficiency and maintaining self-purification of the water in the bay, which can provide reference for similar projects.

Keywords: entrance; island breakwater; navigation management

1 工程概况

某海岛峡湾型海湾自东北向西南延伸至海岛中部 1.2 km, 由于与峡湾正交的入射波和经岬角绕射的波浪会在湾内发生非线性叠加, 经地形折射与边界反射后, 形成波能聚集和剧烈振荡^[1], 影响湾内船舶靠泊和码头装卸安全。为改善湾内泊稳条件, 拟在湾口处修建防波堤 1 座。

2 平面布置方案

防波堤平面布置方案共 2 个, 方案 1 为岛式

布置, 堤长 280 m, 轴线布置在湾口-11~-10 m 的等深线处, 沿东南至西北方向呈直线布置, 东南端与西北端均保留 1 个口门。方案 2 为单突堤布置, 堤长 730 m, 接岸于湾口北侧岬角, 轴线自根部沿湾口-14~-9 m 等深线呈弧形布置, 保留东南端 1 个口门, 2 个方案口门设计宽度均为 80 m, 远期按 130 m 预留, 平面布置见图 1。

根据工程波浪整体数学模型计算^[2]和物理模型试验^[3]成果, 2 个方案均满足湾内码头泊稳要求, 防波堤建成后湾内 2 a 一遇有效波高可由实施

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 李达华 (1996—), 男, 工程师, 从事港口工程总承包管理工作。

前的 1.0~1.5 m 减小至 0.8 m 以下, 方案 1 码头年可作业天数增加至 300~305 d, 方案 2 作业条件略优于方案 1, 年作业天数可增加至 315~320 d, 除极端天气外均可作业。

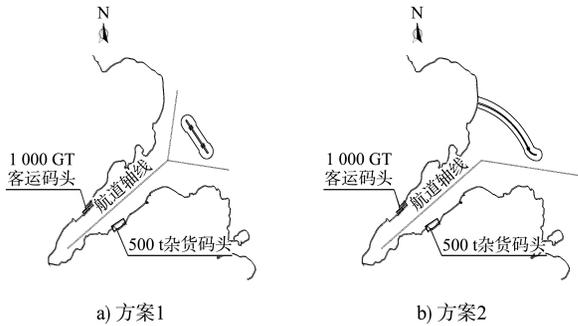


图 1 平面布置方案

与方案 2 相比, 方案 1 在湾口南北两侧留有水体交换通道, 在岛堤的引导下沿海岛南下的落潮流可更好地挤压到防波堤内侧, 按照物质总量法, 湾内物质削减一半的周期将由实施前的 30 h 降低至 20 h^[4], 可促进湾内水体交换, 避免水质恶化。方案 1 保留了南北 2 条进出港航道, 未修改原航线走向, 航道有效宽度 62 m, 满足湾内各类船型进出需求, 提高航行便利性。另外, 2 个方

案在改善湾内泊稳条件方面效果相差不大, 但方案 1 设计堤长较短, 占用的海域面积较小, 投资成本相对较低, 经综合分析最终采用方案 1。

3 防波堤结构特点

防波堤所在区域地质表层为较厚的软弱土层, 厚度 7~9 m^[5], 通常可采用开挖置换、爆破挤淤以及深层水泥搅拌等方法进行处理。考虑爆破挤淤法及深层水泥搅拌法对工艺、环保要求高, 且施工质量难以保障, 地基采用开挖换填块石处理。堤身则通过抛理各种规格块石形成, 全断面采用人工预制块体护面。防波堤结构设计简单, 施工方便。

防波堤海外侧为无掩护的开敞水域, 入射波浪受地形影响, 在湾口处表现为波浪反射增强区及波浪折射绕射区, 水动力环境复杂, 考虑近年来极端天气频发, 为确保堤体稳定性, 结合工程波浪断面模型试验成果^[6], 对堤身结构进行优化, 防波堤堤头段扭王字块质量由设计波浪理论计算的 20 t 调整为 25 t, 堤身段由 16 t 调整为 22 t, 海外侧护底块石由 60~100 kg 提高至 300~500 kg, 堤头设计断面见图 2。

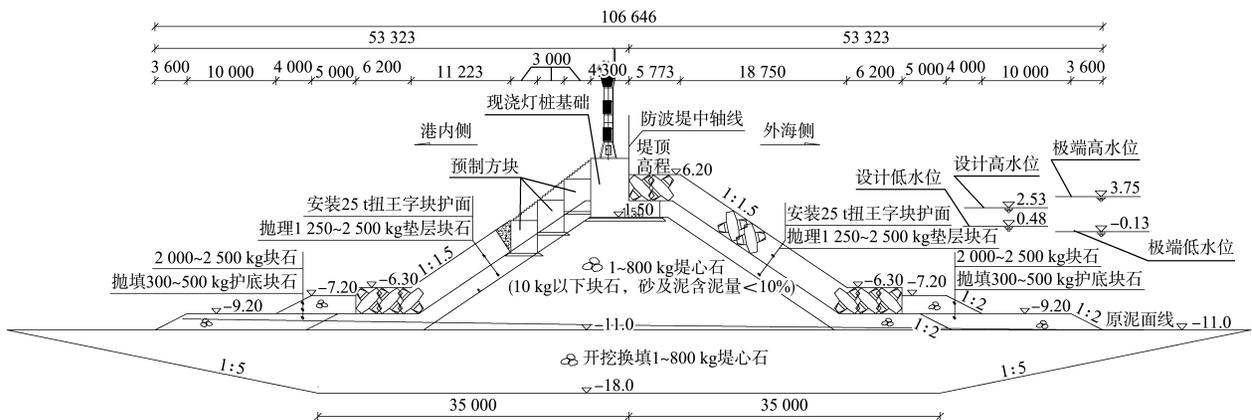


图 2 堤头设计断面 (尺寸: mm; 高程: m)

结合湾口地形特征及进湾航线设计, 在防波堤堤头两端各设置 1 座 10 m 高玻璃钢灯桩, 以标识防波堤位置与走向, 堤头坡脚处设置 AIS 虚拟航标, 标识防波堤坡脚位置与航道边界。

4 施工组织与应对策略

4.1 实施重点与难点

防波堤海外侧为无掩护开敞水域, 施工期需跨越一个台风期和季风期。在设计断面形成前,

堤身抵抗风浪的能力相对较弱，特别是堤头附近，水动力环境复杂，施工处置不当容易导致结构失稳，因此保障施工期间堤身结构的安全稳定是关键。

此外，防波堤位于分叉航道内侧，施工水域狭窄，且堤身结构采用低窄顶设计^[7]，允许少量越浪^[8]，工程海域设计高水位 2.53 m，设计低水位 0.48 m，施工平均水位约 1.00 m。设计高水位下，50 a 一遇的设计波高为 5.46 m，2 a 一遇设计波高为 2.65 m。现场涨潮及风浪较大时，潮水将没过堤顶。在波浪、潮汐等水文气象条件的的影响以及通航因素的限制下，如何克服客观因素影响，提高施工船机设备的时间利用率，降低施工作业对进出船舶的航行影响也是工程难点之一。

4.2 施工组织原则

施工期在当年 1 月开工，次年 4 月完工。考虑到 -4.0 m 以下的堤身施工量约占全断面的 81%，堤身出水前，台风对 -4.0 m 以下堤身实体影响较小。为避免台风袭击，降低施工风险，防波堤在当年 7~10 月台风影响期间暂不出水。台风影响前只进行基槽开挖换填以及 -4.0 m 以下堤身结构抛理施工，台风期过后利用 -4.0 m 以上工程量较小的结构特点，快速抢抛出水成堤。

防波堤基槽采用抓斗挖泥船配自航泥驳分层、分段开挖，堤身则采用水抛为主、陆推为辅的抛石成堤方案，将未出水堤身高度控制在 -4.0 m 以下，既保证现场水深满足施工船舶吃水要求，又避免误入施工水域的船舶触底搁浅，对通航安全有利，因此在 -4.0 m 进行工艺划分。-4.0 m 以下采用自航驳船配挖掘机抛石工艺，-4.0 m 以上在堤身中段修筑陆推平台，利用自卸车装卸石料，从堤身中段向堤头两侧推进的抛石工艺。

根据斜坡式防波堤合理控制施工步距、尽快形成设计断面和全断面推进的原则^[9]，堤身抛填、垫层抛理和扭王字块安放 3 道工序沿防波堤轴线实行分段流水作业，将施工步距控制在 30 m 以内，满足随抛随理、随理随护的防护要求。断面上先施工堤身外侧，再施工堤身内侧，最后施工

堤顶。施工组织流程见图 3。

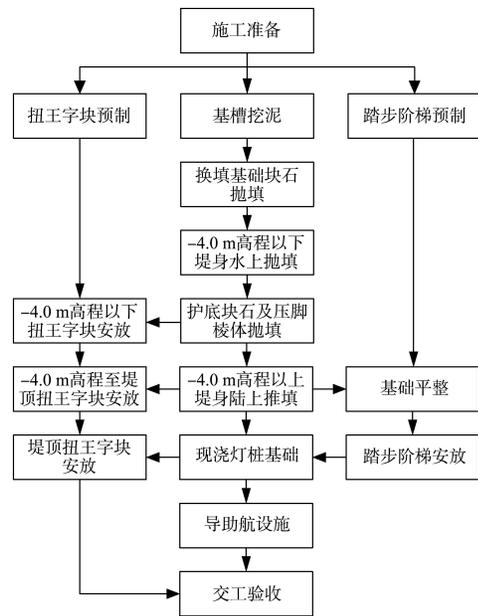


图 3 施工组织流程

由于工程地处孤岛，周边无临建用地及建材供应，建设所需石料及护面块体均从大陆沿岸采购或预制，通过平板驳船水陆运输至施工现场。

4.3 基槽开挖

抓斗挖泥船作业流程简单，调遣及维护方便，其开挖精度高，适用于工程狭窄水域基槽开挖。为避免基槽回淤、降低工后沉降，基槽整体分 3 层进行开挖换填，分层厚度自上而下为 3、2、2 m，边坡则采用阶梯形断面开挖，上欠下超，使挖槽自然坍塌至接近设计边坡，保证边坡稳定。因湾口处落潮流动力较强，基槽顺落潮流向由北向南进行开挖，为减少槽底暴露时间，第 3 层基底开挖时，将挖槽划分南、北 2 个施工段，分段开挖至设计底高程后，复核水深及土质，经验收合格后及时进行换填抛石。

4.4 -4.0 m 以下水上抛填施工

防波堤基础换填施工水深为 15 m，当海水流速 1~2 m/s 时，800 kg 块石在水流作用下漂移距离约 4~8 m，采用开底驳船无法满足抛填精度要求，因此选用 3 000~5 000 t 自航平板驳船配以铲车和反铲挖掘机进行水上抛填，定驳时预留飘移距，挖掘机从断面中部开始向两侧对称拓宽，分

段、逐层向上填筑。为降低船舶受风、受浪面积, 提高船舶作业的稳定性和抛填精度, 平板驳船的驻泊方向由平行于防波堤轴线改为垂直于轴线。驳船垂直驻泊时, 抛锚距离相对较短, 可少占用水域, 避免锚缆占用航道对过往船舶造成影响。

施工过程中勤测水深、勤复船方位, 并按照方格网法及时统计各区段的抛投量, 绘制抛投网格图, 避免少抛、漏抛。定期采用测深仪进行扫海检测, 了解抛填后断面的成型状态, 计算出需补抛的位置和数量, 确保抛填断面控制在设计断面范围内。

4.5 -4.0 m 以上陆上推填施工

陆推施工前修筑登陆平台, 平台由平板驳船配长臂挖掘机旁抛出水。首个登陆平台设置在湾口中, 有效长度 20 m、宽度 8 m, 满足自卸车会车及转弯上驳要求, 平台顶高程随作业时段的潮位适时调整, 并将跳板与平台夹角控制在 25° 以内。

陆推施工时, 平板驳船垂直靠泊在堤身后方, 船首锚系在堤身预埋的地锚上, 仅抛设 2 只艏锚。驳船驻泊平稳后, 下放船首跳板, 自卸车通过跳板登陆堤面, 将石料沿防波堤轴线卸至堤头两侧后, 返回驳船装料, 如此循环端进, 直至堤身抛填成形。

为降低潮水影响, 创建干地施工作业条件, 保证陆推作业的安全性和连续性, 工程堤顶施工高程在原堤心石设计顶高程 1.7 m 的基础上超抛至 3.4 m (垫层块石设计顶高程), 此时堤顶平均作业宽度 7 m, 满足自卸车安全作业要求。防波堤内外侧施工完成后, 再将超高部分返挖换填为垫层块石, 陆推断面见图 4。

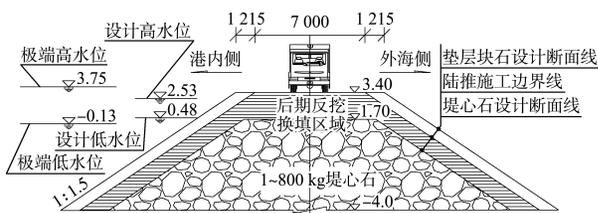


图 4 陆推断面 (尺寸: mm; 高程: m)

4.6 垫层理坡及块体安放

为尽早形成设计断面, 堤身陆推出水 50 m 后, 即对堤身内外侧进行理坡, 受堤顶面作业宽度限制, 陆推与理坡按南、北向错开施工, 采用加装 3D 智能引导系统^[10]的 18 m 长臂反铲挖掘机进行理坡, 抛理时在坡肩处每隔 10 m 设置 1 坡度架, 据此进行坡肩边线及坡度控制。

狭窄的堤面不具备陆上吊安条件, 扭王字块采用 260 t 起重船组进行安放, 水下块体通过在吊臂顶部加装 GPS 接收机实时定位以控制安放精度, 水上块体以保证块体间的勾联嵌固效果为准。

块体分区域进行安放, 根据防波堤堤身断面划分水平段、斜坡段及堤顶段, 防波堤 -4.0 m 以下护底及水下垫层抛填完成后, 即进行水平段及斜坡段块体安放, 水下水平段块体由坡脚向外安放, 斜坡段在坡脚水平段的基础上, 沿坡面逐层安放, 当堤身抛理到顶后, 沿防波堤轴线实行分段流水作业, 理坡与安放的施工步距控制在 30~50 m, 当优先完成堤身外侧块体安放后, 及时对裸露的堤顶面进行覆盖。

4.7 工艺对比及效果

防波堤堤身水下部分通过平升法分层向上填筑, 出水后再采用陆推法全断面推进。水下抛填时堤身断面束水作用不会急剧加强, 随着堤身逐层上升, 顶部淹没水深逐渐减小, 堤顶水流流速才会逐步加大, 此时采用端进法施工, 随抛、随理、随护可减少推进过程中块石流失。当推进至堤头时可预留 10 m, 选择风浪较小且潮位较低的时段作业, 并适当加大抛填料的规格尺寸, 利用长臂挖掘机臂长优势, 伸入水下抛投并及时理坡, 避免堤头块石失稳滑落。

较水上抛填, 陆推时施工船舶可利用堤后掩护, 降低海上风浪影响, 提高可作业天数; 在作业过程中抛锚、起锚以及绞锚定驳等辅助作业时间短。2 500 m³ 装载量的平板驳船在 1 台铲车及 1 台挖掘机的配置下进行水上抛填, 与配置 2 台铲车、1 台挖掘机和 2 辆自卸车进行陆上推填, 两种工艺工效统计见表 1。

表1 抛石施工工效对比

工艺	工序工效/h			
	驻泊	抛石	绞驳	离泊
水上抛填	2.0	4.5	1.5	1.0
陆上推填	1.0	10.0	0	0.5

工程主体完工后,堤身实体经水深测量及钻孔取芯探摸,结果显示:堤身断面符合设计断面要求,槽底土质为中粗砂及黏性土混砂,抛填体深入槽底设计高程0.6~0.8 m,抛填体整体厚度达到设计要求。堤身出水前,堤体历经半年自然沉降,出水后又经重载碾压,堤身实体已无明显沉降。据堤顶抛理后60 d内,块体安放期间的沉降观测数据显示,累计观测沉降16 cm,略小于工程20 cm预留沉降。

5 通航安全管理

为客观、全面分析实施期间可能出现的通航风险,针对性地落实防范,工程实施前,编制通航安全保障方案,根据专家评审意见,在航道边缘抛设3个灯浮标作为临时标志,为进出港船舶提供明确的引导方向与警示信号,并将灯浮标3点连线围成的水域设定为施工作业区,见图5。在工程开工、堤身出水前后以及堤头施工等重要施工节点,派遣警戒船在作业区外围进行警戒。此外,与海事局、码头运管单位、地方村委等建立通航协调及信息共享机制,以便及时掌握码头运行期动态、了解湾内通航状况,从而预防并应对潜在风险。充分落实通航安全主体责任,强化水上作业管理,项目实施以来未发生水上交通事故。

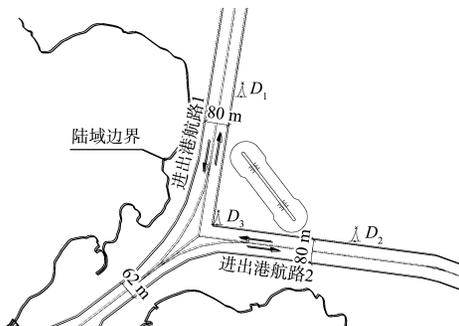


图5 临时航标布设

6 结语

1) 在满足峡湾型海岛泊稳条件的基础上,采用双口门设计的岛式防波堤,较好地兼顾了岛内不同航向或性质的船舶进出,提高航行的灵活性,并在强化湾内外水体交换及自净等方面具有显著优势。

2) 经工程实践,采用水下平升法分层向上、水上端进法全面推进的水陆结合抛填成堤施工工艺,对恶劣工况条件适应性强,可有效解决狭窄水域防波堤施工展布困难,作业船舶时间利用率低等问题。并通过增设临时航标、建立通航协调及信息共享机制、合理船舶设备选型及展布等措施,可以确保施工期间的通航安全,保障项目的顺利实施。

参考文献:

- [1] 陈恺,何用,王世俊.东澳湾防波堤工程波浪物理模型试验研究[J].人民珠江,2020,41(10):22-29.
- [2] 河海大学.珠海港万山港区东澳岛客货运码头防波堤工程波浪整体数学模型计算报告[R].南京:河海大学,2018.
- [3] 珠江水利科学研究院.珠海港万山港区东澳岛客货运码头防波堤工程波浪整体物理模型试验研究报告[R].广州:珠江水利科学研究院,2019.
- [4] 河海大学.东澳岛课题潮流报告[R].南京:河海大学,2018.
- [5] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司.珠海港万山港区东澳岛客货运码头防波堤工程岩土工程勘察报告[R].广州:中交第四航务工程勘察设计院有限公司,2019.
- [6] 珠江水利科学研究院.珠海港万山港区东澳岛客货运码头防波堤工程波浪断面物理模型试验报告[R].广州:珠江水利科学研究院,2019.
- [7] 黄远明,聂洪斌.浅谈季风环境下低窄顶离岸式防波堤施工[J].珠江水运,2020,(12):44-48.
- [8] 段建剑,谢树杰.允许越浪防波堤的施工难点与应对措施[J].中国水运(下半月),2020,20(4):114-115.
- [9] 中交第一航务工程局有限公司.防波堤与护岸施工规范:JTS 208—2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [10] 许万胜,谭斌.长周期波影响的河口防波堤施工技术[J].水运工程,2019(S1):16-20,25.

(本文编辑 赵娟)