



扎瓦尔综合性港口开发项目 设计方案和施工工艺优化

莫文贺

(中国铁建国际集团有限公司, 北京 100855)

摘要: 扎瓦尔项目是工程量巨大的综合性港口开发项目, 涉及码头、航道疏浚、防波堤、护岸、陆域形成和基础处理等各类工程。由于海域表层土质较硬, 疏浚工程难度很大。扎瓦尔一至四期建设大规模采用衡重式小方块码头结构, 减少了大型水工施工设备投入; 对防波堤和护岸结构的护面块体进行优化, 保证了施工质量和结构安全; 采用无围堰回填技术和 200 m^3 液压抓斗船的创新型疏浚工艺, 使大型挖泥船连续施工得以顺利实施; 结合业主的使用要求和绞吸船的吹距, 对总平面布局进行优化, 在提高码头运营便利性的同时, 加快了工程进度。本文总结的设计和施工工艺优化成果可为类似海外水运工程建设提供参考。

关键词: 设计优化; 施工工艺优化; 水工结构; 无围堰回填技术; 总平面布置

中图分类号: U 656.1⁺11

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)08-0220-05

Optimization of design scheme and construction technology of Zawr comprehensive port development project

MO Wen-he

(CCRC International Group Co., Ltd., Beijing 100855, China)

Abstract: The Zawr project is a comprehensive port development project with a huge volume of works, involving various types of works such as quay wall, channel dredging, breakwater, shore protection, land formation, and soil improvement. The dredging project is very difficult due to the hard surface soil of the sea. Zawar phase I to phase IV construction adopts the equilibrium-weigh small cube quay structure, which reduces the input of large hydraulic construction equipment. The armor block of revetment and breakwater is optimized, which guarantees the quality and safety of the marine structure. The innovative dredging technology adopting no-cofferdam backfilling technology and the 200 m^3 hydraulic grab ship enable the continuous construction of large dredgers. The optimization of the general layout in line with the owner's usage requirements and the blowing range of the cutter-suction dredger improve the convenience of terminal operation while speeding up the project schedule. The design and construction technology optimization results can provide a reference for similar overseas water transportation projects.

Keywords: design optimization; optimization for construction technology; marine structure; no-cofferdam backfilling technology; general layout

1 项目概况

1.1 工程概述

特扎瓦尔港项目位于沙特东侧海岸线的

Ras Al Khair, 在科威特东南约 250 km、沙特东部港口城市达曼以北约 190 km。扎瓦尔港是扎瓦尔工业城及沙特东北矿区大宗货物的重要进出海通

道。工业区内规划建设了磷酸盐厂、电解铝厂、氨厂和发电厂等重化工业设施^[1-2]。

根据工业区发展规划，沙特国家发展委员会

制定了扎瓦尔港分期发展规划：共分四期建设。各期工程规模见表 1。图 1 为投标阶段扎瓦尔一期工程平面布置。

表 1 扎瓦尔港各期工程规模

工程期次	主要内容
一期	新建约 24 km 进出港航道、港池、掉头区、冷却水取水口与排放口的疏浚工程及相应的导助航设施, 港池及航道疏浚 4 500 万 m ³ ; 3 个 7 万吨级(干散、件杂、液体化工)泊位以及 1 个 7 000 吨级工作船泊位; 形成约 37 万 m ² 陆域; 约 16 km 护岸及防波堤工程; 土建配套工程包括: 港口管理大楼、清真寺、燃料库、消防池、变电站、道路、围墙大门、排水系统、照明、水储存及处理等设施。 总投资 5.88 亿美元
二期	新建总长 915 m 码头泊位, 包括 1 个 7 万吨级沥青泊位、1 个 7 万吨级干散泊位、1 个 7 万吨级件杂泊位以及 90 m 长度的预留过渡段; 约 4.5 km(28 m 宽双向四车道)道路和沿线配套设施管线; 码头配套附属设施; 堆场和水电管网等。 总投资 0.92 亿美元
三期	在二期工程西部续建 2 个泊位
四期	新建 4 个 15 万吨级泊位, 岸线长为 1 060 m, 码头前沿设计水深-16.5 m; 1 580 m 防波堤; 750 m 护岸; 港池及航道疏浚 2 300 万 m ³ ; 形成后方约 17.5 万 m ² 的陆域和地基处理及配套工程。 总投资 2.03 亿美元

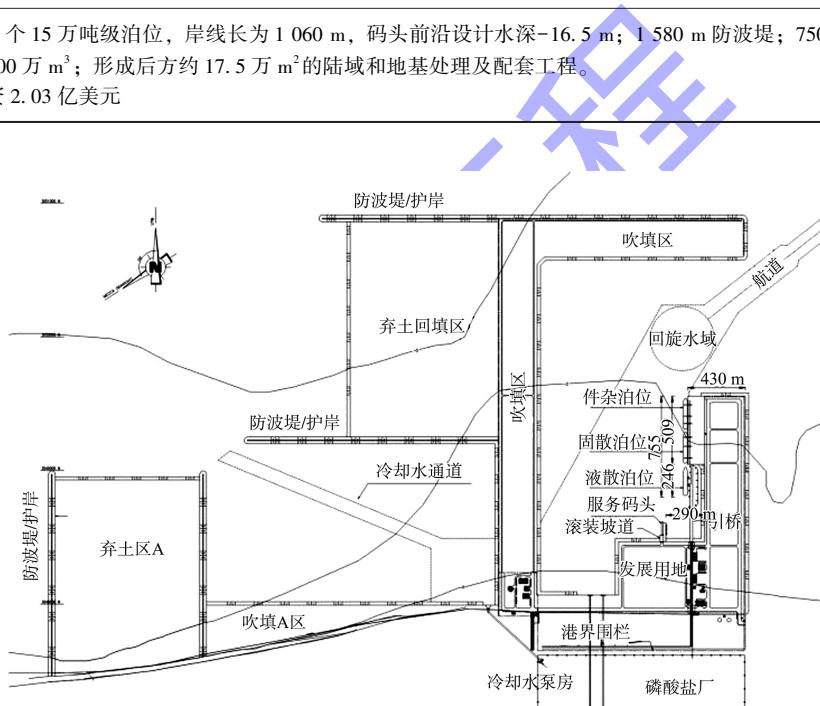


图 1 扎瓦尔一期工程投标阶段平面布置

扎瓦尔一期工程规模最大，是综合性的港口开发项目；二、三期工程是在一期工程形成的港池内部分别扩建了2个泊位；四期工程是位于一期港池东部开辟的新港池，主要建设内容包括4个深水泊位、防波堤、护岸和港池疏浚。

1.2 自然条件

扎瓦尔港位于沙漠干燥气候带，夏天炎热干燥，冬天温暖；工程区为半日潮，潮差较小^[3]，特征潮位见表 2。

表 2 工程区特征潮位

最高天文潮/m	平均高高潮/m	平均高低潮/m	平均低高潮/m	平均低低潮/m	最低天文潮/m
2.44	2.30	1.90	1.00	0.60	0.00

拟建港址外海波浪较大，100 a一遇有效波高
 H_s 达3.5 m，需要建设防波堤；海水平均盐度

37%~41%，局部海域达50%~70%，对码头水工建筑物腐蚀性强；拟建码头水域自上而下主要分

布砂岩-硬壳层、淤泥质砂、中粗砂和灰岩，表面广泛分布 2~3 m 厚硬壳层，是疏浚工程需要克服的主要难点；地震动峰值加速度(PGA)为 0.075g，地震作用较弱。

2 投标阶段方案优化

2.1 水工结构优化

2.1.1 码头结构选型和优化

通过对地质情况的分析，将重力式(阶梯式小方块)和高桩承台 2 种设计全部改为衡重式小方块结构形式，避免了打桩船和大型起重船等设备投入，便于利用当地资源进行施工。

在 20 世纪 70~80 年代，沙特经历过一次大规模的港口建设，当时在波斯湾沿岸建成了达曼港和朱拜勒港等大型港口，水工结构以沉箱和高桩承台结构为主，大部分构件采用钢筋混凝土结构。由于海水腐蚀性强，钢筋通常采用环氧涂层处理。

20 世纪 90 年代后期，在阿联酋港口建设中，

Halcrow、Wilson 和 Aecom 等英美工程咨询公司设计了大量的衡重式小方块深水码头，采用长条形小方块，截面尺寸通常为 2.0 m×2.0 m，长 7.5~10.5 m。采用的素混凝土抗腐蚀能力强，单体质量小，施工工艺简单，很快成为中东地区流行的码头水工结构。

扎瓦尔港工程设计选择了类似的小方块结构形式。该结构的细长小方块预制精度和顶、底面平整度要求高，如果发现平整度不够，则须在安装前进行打磨处理，否则在后期超载预压过程中有可能出现方块断裂的情况。

在最上层方块安装完成、现浇胸墙施工前，以 1.2 倍胸墙自重+1.5 倍上部使用均载作为超载预压控制荷载；卸载标准按照连续 24 h 观测沉降小于 2 mm 进行控制。现场观测数据表明，总沉降量基本在 40 mm 左右，结合近 10 年对码头使用期的观测，码头工后基本无沉降发生。衡重式小方块码头的结构断面如图 2 所示。

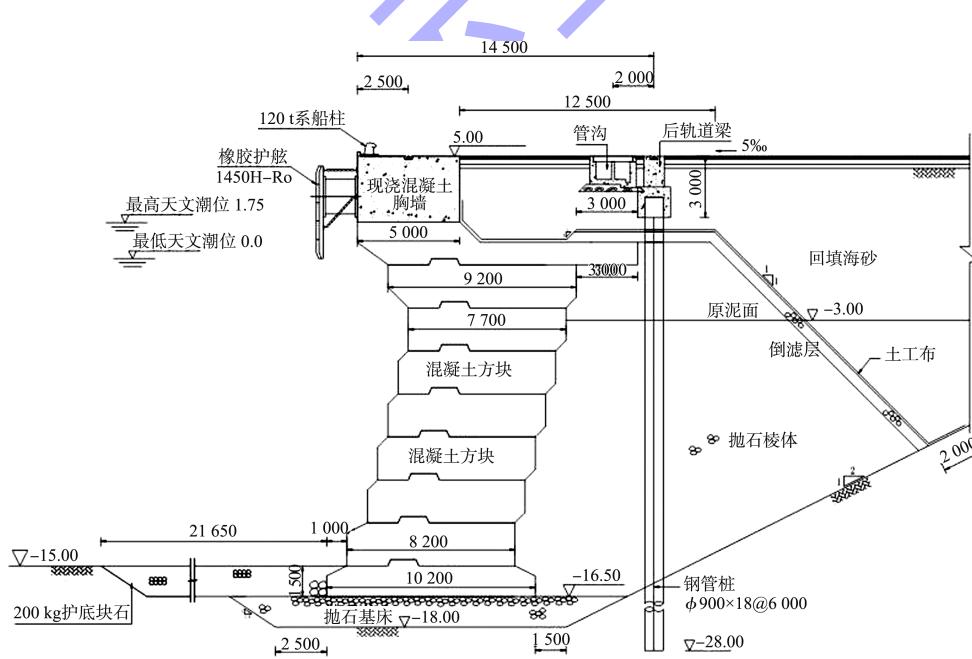


图 2 衡重式小方块码头结构断面 (高程: m; 尺寸: mm。下同)

2.1.2 护岸和防波堤结构优化

护岸和防波堤结构断面分别如图 3、4 所示。计划采用典型的抛石斜坡结构及 3~6 t 大块石护面，但是当地很难生产这种大规格块石，如果从上百公里以外的区域采购，则运输成本巨大，因

此采用 1.5 t 和 2 t 混凝土四脚空心方块替代大块石方案。护面结构调整后，降低了工程成本，经过近 10 年的使用，证明优化后的结构在沙特波斯湾沿岸具有良好的适用性。

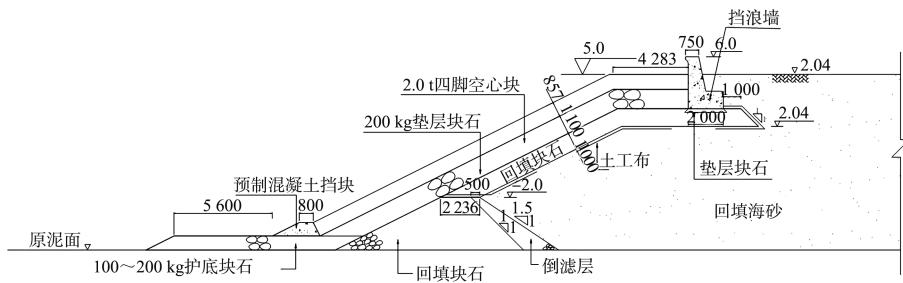


图 3 护岸结构断面

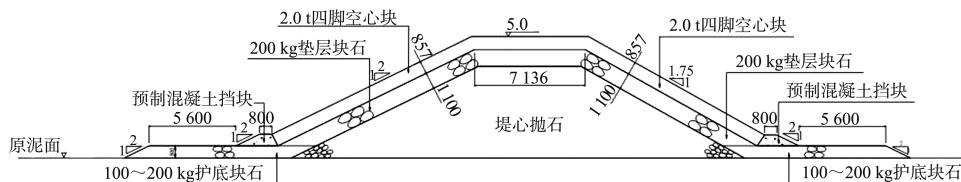


图 4 防波堤结构典型断面

2.2 疏浚船机设备选型

在疏浚施工船舶选型中采用 200 m^3 液压抓斗船配合 2 艘 $3\,500\text{ m}^3$ 绞吸式挖泥船施工，该大型抓斗船可以轻易抓取表层胶结硬质砂岩，为绞吸式挖泥船后续工作创造良好的施工条件。

3 实施阶段技术优化

3.1 疏浚施工工艺优化

围堰施工工序较多，施工速度通常较慢，而绞吸作业吹填效率高，经常导致绞吸船窝工停工。为了提升疏浚工程效率和降低成本，对疏浚施工工艺进行优化：采用无围堰回填技术，即利用在设计围堰坡脚线以外布置的防污屏迅速将吹填区围成封闭水域，保证绞吸船入场后能够马上进行连续吹填作业。本工程防污屏由若干单元组成，每单元长度为 11.5 m。防污屏由浮体、防污帘布、铁链配重和固定锚块组成^[4-5]，见图 5。

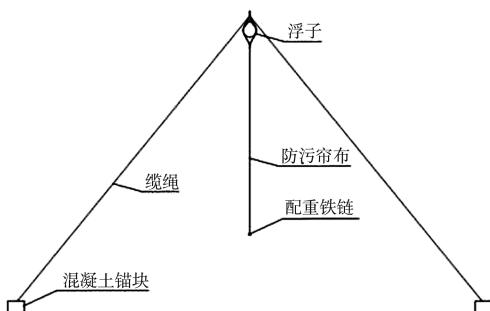


图 5 防污屏结构

采用无围堰施工技术，施工工期减少了8~12个月；节省了船机台班损失费用。

继本项目成功应用之后，沙特吉赞港吹填项目和朱拜勒人工岛项目中均采用了无围堰回填技术，取得很好的经济效益。

3.2 码头平面布局优化

从港区投标和早期规划布置图可以看出，C 区较窄，仅为 200 m，C 区和 B 区分别位于二期和三期码头后方。业主原来提出向西部发展的规划方案，但因为航道在港区东部，向东部滚动发展建设和运营成本低，所以规划方案调整为取消向西部发展策略，改为向东部拓展，将 C 区宽度扩大到 500 m，调整 B 区最大宽度至 700 m；增加 E 区为航道扩展疏浚纳泥区。减少了后期扩建与运营的相互干扰，同时大大增加了后期发展潜力(图 6)。

码头平面布局优化调整的优点是：1) 增加了二期和三期码头的陆域纵深，提升码头运营效率，为后期发展预留了足够的空间；2) 港区具备拓宽航道和扩展港池的潜力；3) 缩短了吹填距离，显著降低疏浚工程费用。四期工程新开辟了DOOGLE 港池(图 7)，为工业区发展预留了优良的港口岸线。

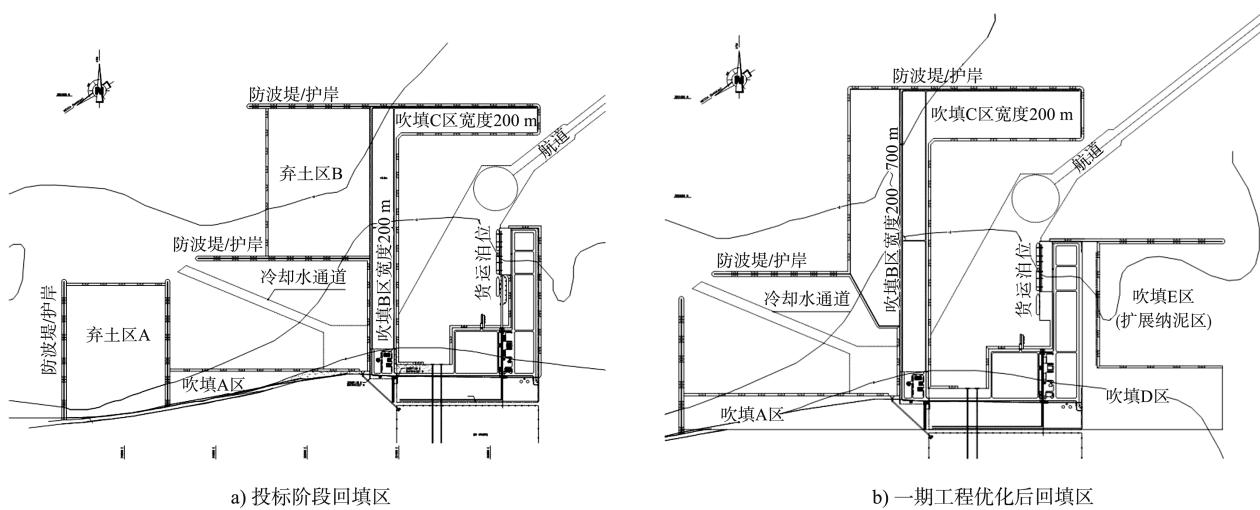


图 6 回填区平面布置

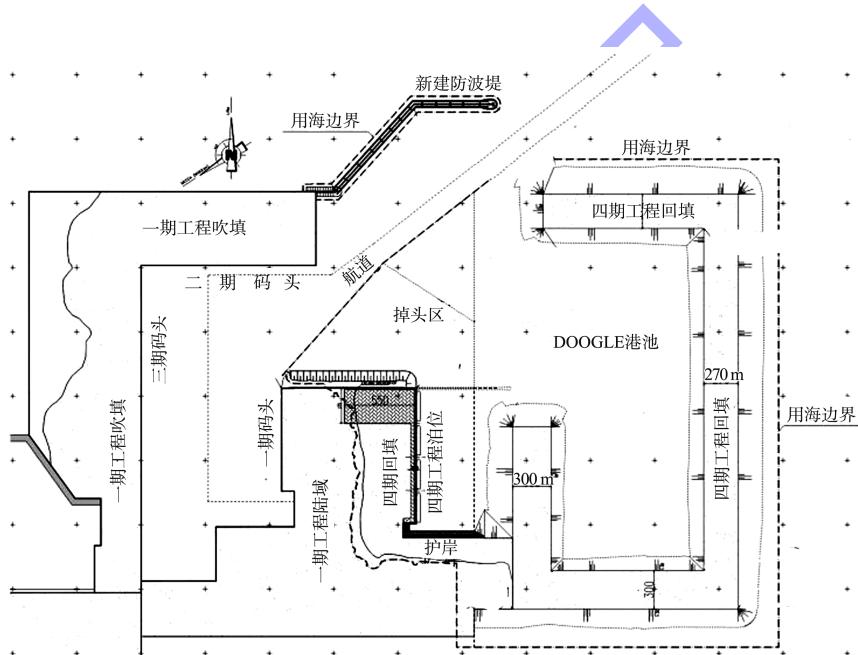


图 7 扎瓦尔港四期平面布置

3.3 防波堤护面块体优化

一期工程防波堤和护岸均采用了四脚空心方块，其棱角突出，在施工过程中经常会出现边角及中心方孔的破损情况，影响块体的表观质量，甚至造成部分块体报废。为此，四期工程设计对四脚空心块形状进行了优化，将四脚及孔洞外形由方形改为圆形，以改善块体自身的应力分布，减少应力集中。优化后的块体（图 8）既保持了良好的抗浪效果，提高了预制

和工后表观质量。



图 8 优化后的四脚空心块

（下转第 229 页）