

· 港口 ·

青岛港董家口港区原油码头二期工程绿色设计



任志杰

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对青岛港董家口港区原油码头二期工程在建设和运营中存在对海洋自然环境、生态环境、大气环境、水环境等产生影响的问题, 进行节约资源、减少对环境的影响、资源循环利用等方面的绿色设计策略研究。通过制定绿色设计目标, 并采取统筹利用土地与海域、设置油气回收装置、设置压载水生物灭活处理装置、资源综合循环利用的绿色设计策略与技术措施, 达到节约用地用海、废气和水质排放达标、保护生态环境、资源综合循环利用的目的, 对推动港口绿色循环低碳发展和技术进步等具有积极作用。

关键词: 绿色设计; 统筹利用土地与海域; 油气回收; 压载水生物灭活处理; 资源综合循环利用

中图分类号: U 656.1+32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0036-06

Green design for Dongjiakou Crude Oil Terminal (Phase II) in Dongjiakou at Qingdao Port

REN Zhi-jie

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Considering the influence from the construction and operation of the Dongjiakou Crude Oil Terminal (Phase II) at Qingdao Port on the marine natural environment, ecological environment, atmospheric environment, and water environment, we carry out a research on the green design strategy in terms of saving resources, reducing the impact on the environment, and recycling resources. Setting green design objectives and adopting green design strategies and technical measures including the integrated use of land and sea areas, installation of oil and gas recovery devices, installation of devices for organism inactivation treatment in ballast water, as well as comprehensive recycling of resources, we achieve the result of saving land and sea use, meeting the emission standards of waste gas and water, protecting the ecological environment, and comprehensive recycling of resources, which has a positive effect on promoting the green, circular, and low-carbon development and technological progress of ports.

Keywords: green design; integrated use of land and sea area; oil and gas recovery; organism inactivation treatment in ballast water; comprehensive recycling of resources

1 工程概况

青岛港董家口港区原油码头二期工程位于青岛港董家口港区, 项目建设规模为 1 个 30 万吨级油品泊位(水工结构按靠泊 45 万 t 油船设计)和 1 个 10 万吨级油品泊位(水工结构按靠泊 12 万吨级油船设计), 装卸货种为原油、燃料油和稀释沥青, 设计通过能力 2 550 万 t/a。

本项目是落实山东沿海地区发展规划、为大型临港及腹地石化企业提供运输保障并具有国家石油战略储备功能的基础性工程, 作为山东省“新旧动能转换”重点项目, 其对“安全、绿色、科技、高效”要求十分关注。设计是项目绿色建设的源头, 制定合适的绿色设计方案是保证绿色建设的关键。

收稿日期: 2021-12-23

作者简介: 任志杰(1979—), 男, 教授级高级工程师, 从事港口与航道工程设计、施工条件及项目经济评价。

2 建设和运营中存在的环境影响

2.1 工程建设占用土地和海域资源

该原油码头占用海域总面积为 15.867 万 m²，陆域辅建区面积约 7 万 m²，填海造地会对工程区域海洋生态环境造成影响。

2.2 工程建设对海洋生态环境的影响

工程包括港池疏浚、沉箱基槽开挖、沉箱基床回填夯实、沉箱预制安装、桩基沉桩、上部结构现浇混凝土等施工内容，将对水生生物和底栖生物栖息环境造成不利影响。码头、引桥等水工建筑物实施后会对工程区域海洋水文动力环境和海洋地形地貌、冲淤环境造成影响。

2.3 运营对大气环境的影响

在进行装船作业时，随着船舱内油品液位的上升，气体空间的油气受到压缩，压力升高，超出排气阀压力时气体会从排气阀排出，产生的挥发性有机物 VOCs 会对大气环境造成污染。

2.4 运营对水环境的影响

外贸到港船舶排放的压载水如果不经生物灭活处理而直接排放，会对港区海域水环境造成生物污染。

3 绿色设计目标与策略

总体绿色设计目标为：建设布局科学合理、功能多样、结构新颖、节约能源、安全、绿色环保、人性化的油品码头工程，最少占用土地与海域资源，与周围环境相协调，尽量降低对海洋自然环境、生态环境、大气环境、水环境等的影响。

总体绿色设计策略包括：

- 1) 统筹布局，科学合理地进行项目总平面布置，保证项目使用功能，节约土地和海域资源。
- 2) 水工建筑物主体结构采用双向十字透空结构，并进行全寿命周期设计，同时采用环保、合理的施工方案，尽量降低对海洋自然环境和生态环境的影响。
- 3) 配置油气回收等先进合理的装置设备，对装船过程中产生的挥发性有机气体进行回收处

理，实现油气排放达标，尽量降低对大气环境的影响。

4) 配置压载水生物灭活处理装置等先进合理的装置设备，对外贸船舶压载水进行生物灭活处理，处理后的压载水各项水质指标可达到船舶压载水公约 D-2 标准，避免对港区海域水环境造成生物污染，尽量降低对水环境的影响。

5) 对港池及基槽开挖疏浚料、废水等进行综合利用，妥善处理固体废物。

4 主要技术措施及成效

1) 统筹布局，科学合理地进行项目总平面布置，在保证使用功能的前提下，节约土地和海域资源，减少对海洋环境的影响^[1-2]。

在水域部分，综合考虑当地自然条件和适靠船舶操纵特性，通过现场潮流测验及数值模拟分析计算，采用国际通用船舶系缆受力计算分析软件 OPTIMOOR 进行模拟计算，合理确定码头轴线并优化码头泊位长度及各系船墩、靠船墩的平面布置，在保证船舶系泊、装卸作业和靠离泊作业安全便利的同时，占用海域面积最小，节约了土地和海域资源。码头主体采用透空结构，用海属性属于透水构筑物用海，以减少工程对海洋环境的影响。

在陆域部分，依托已建工程，与周边工程统筹建设综合管廊、消防泵房、消防水池、变电所、应急物资库、氮气站等公共配套设施，尽量减少单独新建建筑物，减少土地征用及造地引起的填海面积，在保证使用功能的同时，节约土地和海域资源，减少对海洋环境的影响。

项目用海总面积为 15.867 万 m²，其中非透水构筑物用海面积仅 0.148 万 m²，透水构筑物用海面积占总用海面积的 99% 以上；同时，陆域全部依托已建工程，减少了至少 7 万 m² 的征地及填海造地面积；在保证项目使用功能的同时，最大程度地节约了土地和海域资源，减少了项目建设对海洋环境的影响。项目总平面布置见图 1。

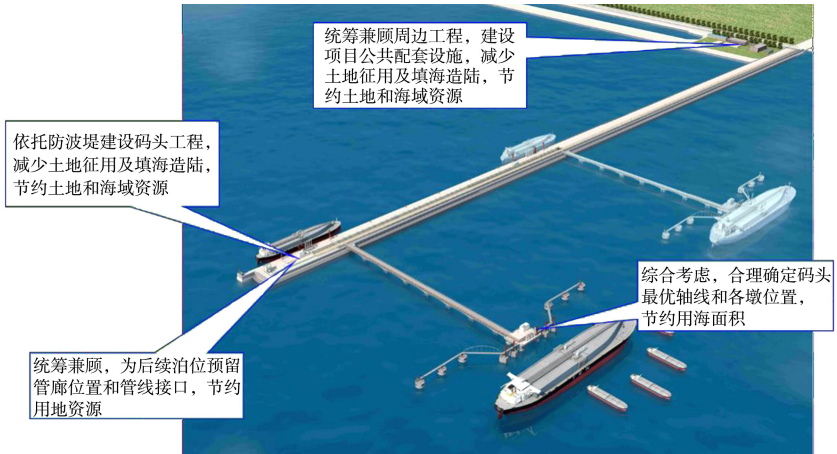


图 1 总平面布置

2) 码头主体结构采用双向十字透空组合消浪结构，主引桥采用桩基墩大跨度预应力混凝土变截面连续梁结构，并进行水工结构全寿命周期设计，既保证了水工结构全寿命周期内的结构安全，又减少了对工程区域海洋水文动力环境的影响。

码头、引桥等水工建筑物采用透水式结构，30 万吨级泊位工作平台和系缆墩结构采用双向十字透空组合消浪结构，主引桥采用桩基墩大跨度的海上桥梁结构(图 2)。通过工程前、后周边海域大潮期落急时潮流场对比(图 3)可知，项目实施后对流场的影响甚微，对工程区域海洋水文动力

环境和海洋地形地貌、冲淤环境的影响降到了最小。

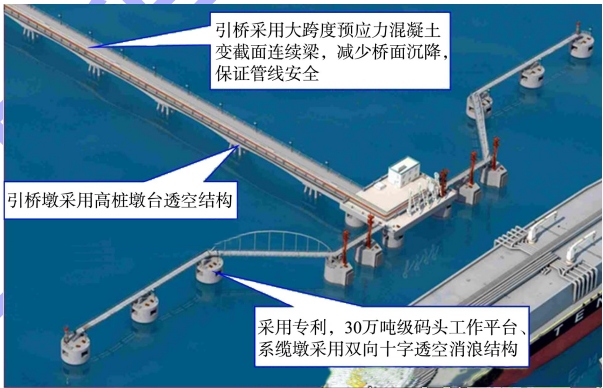
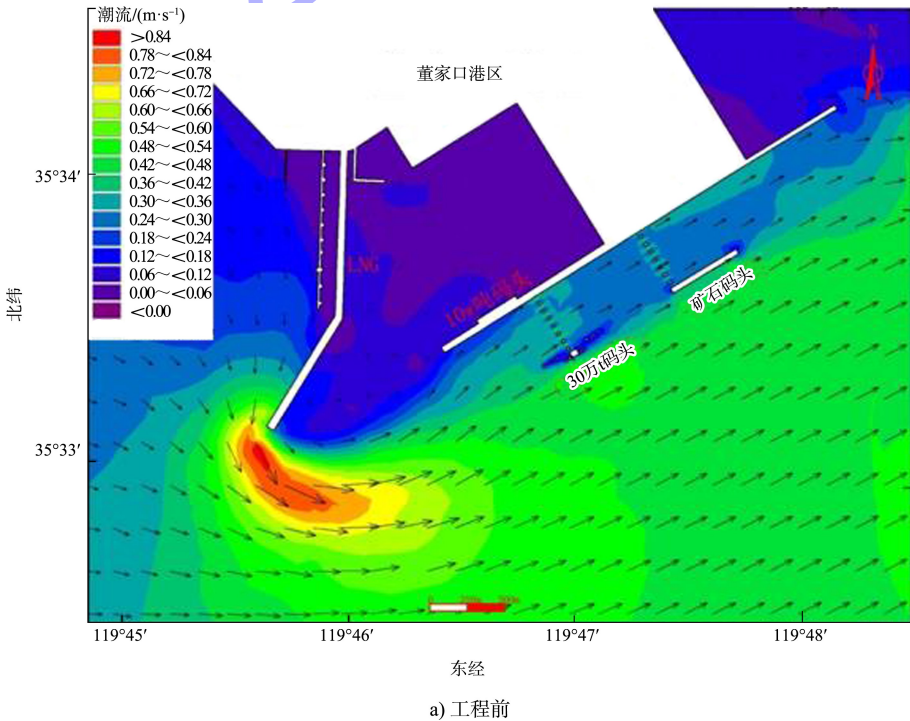


图 2 水工建筑物结构



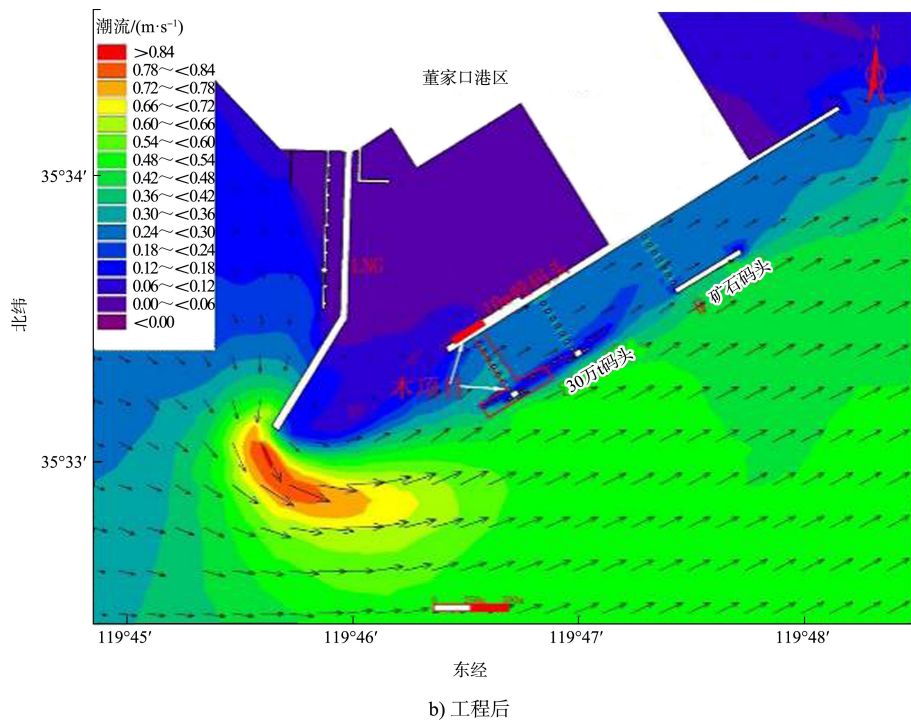


图 3 工程前、后周边海域大潮期落急时潮流场

从结构可靠性、耐久性等方面进行水工结构的全寿命周期设计，保证了水工结构全寿命周期内的结构安全，同时减少了后续水工结构维护施工对周边海洋环境带来的影响。

3) 优化工期安排，采用环保施工方法，施工后采取生态补偿措施，尽量最小对海洋生态环境的影响。

工程包括港池疏浚、沉箱基槽开挖、沉箱基床回填夯实、沉箱预制安装、桩基沉桩、上部结构现浇混凝土等施工内容，施工作业会影响水生生物和底栖生物栖息环境，因此采取如下措施：

① 优化施工期安排：安排打桩、疏浚等对海洋生物群落影响较大的作业避开繁殖期，禁止在休渔期进行港池疏浚、基槽开挖等涉水施工。

② 采用环保施工方法：对港池疏浚，采用自航耙吸式挖泥船艏吹作业施工，疏浚料全部吹填造陆，严格控制溢流口的溢流泥浆入海量在总溢流量的 5% 以下，溢流口排放的悬浮物浓度控制在 30 mg/L；对开挖基岩基槽，采用 120 t 重型抓斗代替水下炸礁；对桩基沉桩，采用液压打桩锤进行打桩作业；对施工过程扬尘控制，采用硬化路面并购置雾炮降尘车进行洒水除尘。

③ 采取生态补偿措施：工程建设完成后，结

合工程附近海域水生生物的生态特点，对该海域进行增殖放流等生态补偿措施，人工放流种类以海域的常见经济贝类、鱼、虾类为主，如西施舌亲贝、牙鲆、梭鱼、中国明对虾、许式平鲆以及三疣梭子蟹等当地优势种，并对增殖放流效果进行跟踪监测。

采取上述措施后，工程建设对海洋生态环境的影响大幅减小并可控。

4) 配置处理规模 6 000 Nm³/h 的油气回收装置，对装船过程中产生的挥发性有机气体进行回收处理以实现油气排放达标，降低对大气环境的影响^[3]。

针对在装船过程中产生的挥发性有机物 VOCs，设计配置处理规模为 6 000 Nm³/h 的油气回收装置进行油气回收处理以实现油气排放达标，减少项目运营对大气环境的影响。

油气回收系统有 3 个主要组成部分：船岸对接安全模块、引风机模块、油气回收装置。处理工艺采用“冷凝+吸附”。油气回收工艺流程为：油气→输气臂→船岸安全装置→回收管线→油气回收装置→凝液回收储罐→返回工艺主管道（图 4）。

经油气回收处理后，在装船过程中产生的挥

发性有机物 VOCs 达标排放量为 7.007 t/a，消减排放量为 226.583 t/a，通过凝液回收利用。经过油

气回收装置处理后，油气排放质量浓度 $\leq 10\text{ g/m}^3$ ，油气处理效率 $\geq 97\%$ ，实现了油气排放达标。

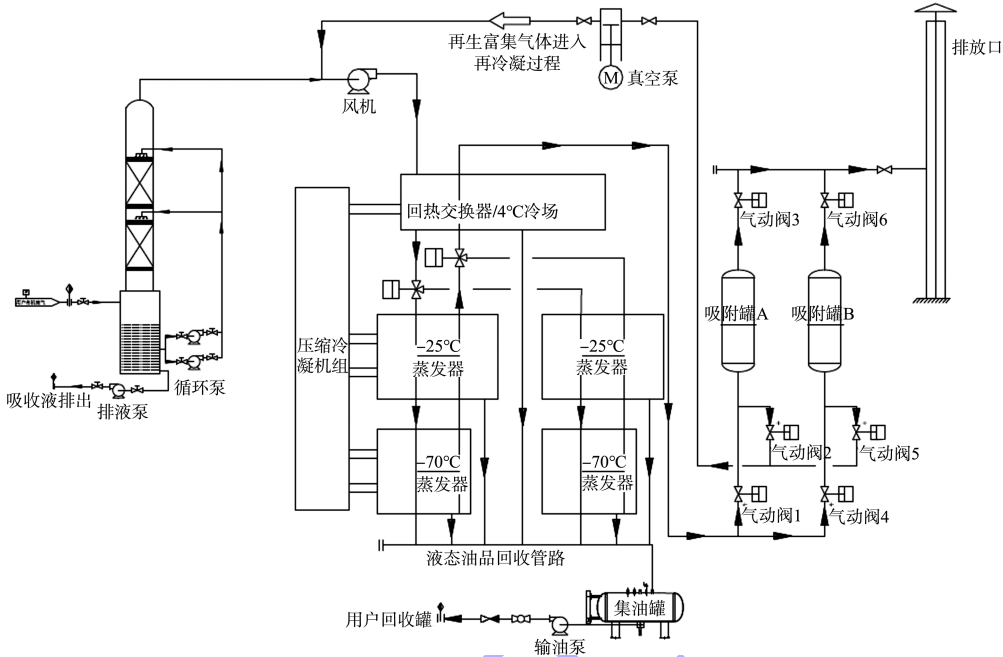


图 4 油气回收流程

5)配置处理规模为 500 m³/h 的压载水生物灭活处理装置，对外贸船舶压载水进行处理，避免对港区水体造成生物污染；处理后的水质达到船舶压载水公约 D-2 标准，降低对水环境的影响^[4]。

港池疏浚及基槽开挖疏浚量约 200 万 m³，主要由淤泥类土、粉质黏土、粉土及风化岩组成。

针对外贸船舶压载水处理，设计配置处理规模为 500 m³/h 的压载水生物灭活处理装置，对压载水进行生物灭活处理，避免对港区水体造成生物污染。

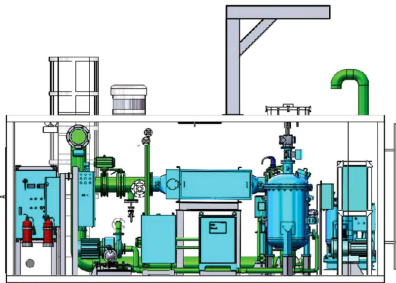


图 5 压载水生物灭活处理装置

压载水处理工艺采用“过滤+电催化高级氧化”，压载水处理系统包括调节池、设备间(含压载水处理装置)和缓冲池 3 个部分。

根据董家口港区现有批复的抛泥区已经用完、周边无满足要求的抛泥区且董家口港区北三突堤围堤需填料形成陆域的情况，从资源综合循环利用角度，采用 2 000 m³/h 自航耙吸挖泥船疏浚，自航运输至青岛港董家口港区北三突堤后艏吹至北三突堤围堤内形成陆域。疏浚工程吹填口、溢流口及疏浚船航线见图 6。

压载水处理工艺流程为：船舶压载水→压载水管线→调节池→过滤器→杀菌单元(电催化)→缓冲池→检验→排放。压载水处理装置见图 5。

工程距北三突堤约 10 km，相比外海抛泥区抛泥距离缩短了至少 50 km，节约了抛泥费用约 5 亿元，同时北三突堤形成陆域节省了填料费用约 2.4 亿元，实现了资源综合利用。

外贸船舶压载水经压载水生物灭活处理后各项水质指标均可达到船舶压载水公约 D-2 标准，排放量约为 99 万 m³/a。

6)对港池及基槽开挖疏浚料进行综合循环利用，妥善处理固体废物。



图 6 疏浚料综合循环利用

5 结语

1)进行码头水、陆域平面布置优化后，陆域全部依托已建工程，减少了至少 7 万 m²的征地及填海造地面积，节约用地和用海面积 30.61%，最大程度地节约了土地和海域资源。用海总面积 15.867 万 m²中非透水构筑物用海面积仅 0.148 万 m²，透水构筑物用海面积占总用海面积的 99% 以上。最大程度地减少了项目建设对海洋环境的影响。

2)码头、引桥等水工建筑物采用透水式结构，对流场的影响甚微，对工程区域海洋水文动力环境和海洋地形地貌、冲淤环境的影响降到最小。

3)优化工期安排，采用环保施工方法与工后生态补偿措施，大幅减小对海洋生态环境的影响。

4)配置处理规模为 6 000 Nm³/h 的油气回收装置，采用“冷凝+吸附”处理工艺对挥发性有机物 VOCs 进行回收处理，处理后的排放指标可以达到油

气排放质量浓度≤10 g/m³ 和油气处理效率≥97%，实现油气排放达标。

5)配置处理规模为 500 m³/h 的压载水生物灭活处理装置，采用“过滤+电催化高级氧化”处理工艺对外贸船舶压载水进行生物灭活处理，处理后的压载水各项水质指标可达到船舶压载水公约 D-2 标准。

6)采用自航耙吸挖泥船疏浚船吹造陆处理港池疏浚及基槽开挖约 200 万 m³疏浚量，既节约抛泥费用约 5 亿元，又节省造陆填料费用约 2.4 亿元，实现了资源综合利用。

参考文献：

[1] 中交水运规划设计院有限公司.青岛港董家口港区原油码头二期工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2018.

[2] 青岛中油华东院安全环保有限公司.青岛港董家口港区原油码头二期工程环境影响报告书[R]. 青岛: 青岛中油华东院安全环保有限公司, 2018.

[3] 交通运输部科学研究院.码头油气回收设施建设技术规范(试行): JTS 196-12—2017 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.

[4] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司.水运工程环境保护设计规范: JTS 149—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 24 页)

3)堤顶高程按照不越浪标准进行设计，同时根据内外侧和功能的不同，堤顶采用高低有序、错落有致的整体设计理念，既保证结构的安全稳定，又提升景观和娱乐效果。

4)水平混合式直立堤结构形式的成功应用可为后续类似项目的建设提供参考。

参考文献：

[1] 武桂秋, TANIMOTO K, TAKABASHI S.日本混合式防波堤的经验[J].海岸工程, 1997(16): 71-82.

[2] 吴进, 谢善文.兼具亲水和消浪功能的格型结构防波堤的开发与应用[J]. 港工技术, 2012, 49(1): 7-10.

[3] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 防波堤与护岸设计规范: JTS 154—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

[4] 宋军港.直立式防波堤兼码头水工结构设计与试验研究[J]. 海岸工程, 2014, 33(2): 27-36.

[5] 李元青, 李新国, 张鑫.董家口防波堤结构设计创新与研究[J]. 水运工程, 2011(9): 123-127.

(本文编辑 郭雪珍)