



# 青岛港董家口港区原油码头 水工结构特点与创新

只红茹，于志安

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

**摘要：**青岛港董家口港区原油码头一期和二期工程均已建成，分别建设了一个30万吨级和一个10万吨级泊位以及相应的引桥和配套设施。针对不同水工建筑物结构特点和工程区基岩埋深适中的有利条件，码头和引桥分别采用重力式和高桩墩式结构。针对外海波浪和水流条件复杂、施工依托条件差的问题，采用了透空式结构以及预制化构件和引桥挂篮施工相结合的方案，达到了预期效果。从两期工程的水工结构方案出发，对两个项目的特点和创新进行了全面分析和总结，为类似工程的设计提供经验参考。

**关键词：**基岩埋深适中；双向十字透空；消浪结构；基床升浆；原油码头

中图分类号：U 656

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)10-0155-06

## Characteristics and innovation of crude oil terminal marine structures in Dongjiakou Port Area of Qingdao Port

ZHI Hong-ru, YU Zhi-an

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

**Abstract:** Both the first and second phases of the Dongjiakou crude oil terminal project of Qingdao Port have been completed, with a 300,000 DWT berth and a 100,000 DWT berth as well as corresponding approach bridges and supporting facilities. According to the structural characteristics of different marine structures and the favorable conditions of moderate bedrock depth in the project area, gravity structure and high pile pier structure are adopted for the wharf and approach bridge respectively. In view of the problems of complex wave and current conditions in the open sea and poor construction support conditions, a scheme combining the open space structure and prefabricated components with the hanging basket construction of the approach bridge is adopted. The expected effect is achieved. Starting from the marine structure scheme of the two projects, this paper comprehensively analyzes and summarizes the characteristics and innovation of the two projects, to provide experience reference for the design of similar projects.

**Keywords:** moderate bedrock depth; two-way cross-ventilation; wave dissipating structure; bed grouting; crude oil terminal

## 1 工程概况

工程位于青岛港董家口港区董家口嘴作业区，2个30万吨级(水工结构按45万t设计和建

设)和2个10万吨级(水工结构按12万吨级设计和建设)泊位分别位于董家口港区西防波堤二期外侧和内侧，2个30万吨级原油泊位为蝶形开敞

式布置，分别通过引桥与西防波堤二期连接；2个10万吨级油品泊位顺岸一字形布置，总平面布置见图1<sup>[1-2]</sup>。

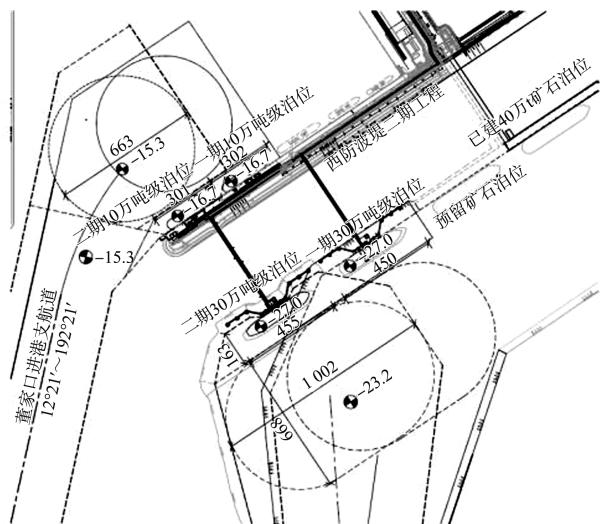


图1 董家口港区原油码头平面布置 (单位: m)

## 2 自然条件

### 2.1 设计水位

从当地理论最低潮面起算，设计高水位为4.71 m，设计低水位为0.67 m，极端高水位为5.91 m，极端低水位为-0.45 m。

### 2.2 设计波浪

本海区实测海浪是以涌浪为主的风涌混合浪，外海传入的波浪对本海区的影响大于风成浪。设计高水位时各泊位前沿设计波要素见表1。

表1 设计高水位时各泊位前沿设计波要素

泊位名称	波向	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	$\bar{T}/s$
一期 30 万吨级	SSE	7.54	6.50	6.31	5.38	8.9
一期 10 万吨级	SSE	3.40	2.90	2.80	2.35	8.9
二期 30 万吨级	SSE	8.03	6.85	6.64	5.60	8.9
二期 10 万吨级	SSE	4.00	3.40	3.29	2.77	8.9

### 2.3 水流

海区最大涨潮流流速在0.67~1.07 m/s，最大落潮流流速在0.48~0.89 m/s。2个30万吨级泊位

前沿设计流速1.5 m/s，流向在56°~72°，与码头前沿线夹角不大于15°；2个10万吨级泊位位于防波堤内侧，码头前沿设计流速0.5 m/s，流向基本平行于码头前沿线。

### 2.4 风况

工程区强风向为ENE向，最大风速12.8 m/s，次强风向为NE向，风速11.8 m/s。常风向为NW向，频率11.2%，次常风向为NNW向，频率8.5%。

### 2.5 工程地质

工程区土层分布较为均匀，自上而下依次为淤泥质粉质黏土、粉质黏土、粉土、中粗砂、全风化及强风化花岗岩等。

30万吨级码头前沿距西防波堤二期500 m，原泥面高程-16.3~-14.5 m，强风化岩面顶高程-31.1~-26.5 m；10万吨级泊位与西防波堤二期合建，原泥面高程-17.0~-15.3 m，强风化岩面顶高程-29.3~-23.8 m；新建引桥墩处原泥面高程-15.8~-13.5 m，强风化岩面顶高程-27.2~-24.6 m。码头及引桥等各区强风化岩分布连续均匀、承载力高，适宜作为重力式结构或桩基结构的基础持力层。

## 3 主要结构设计方案

### 3.1 30万吨级泊位

#### 3.1.1 一期工程主体结构

工作平台、靠船墩和系缆墩均采用重力式沉箱结构，工作平台基础由4个直径15 m的圆沉箱组成，沉箱按2排2列正交方式摆放。前后2个沉箱间设预应力混凝土连系梁，其上由预应力混凝土箱梁、管沟梁和输油臂梁构成，工作平台横断面见图2，工作平台预制构件安装见图3。系、靠船墩基础均为直径15 m的圆沉箱，靠船墩为正八边形趾，系缆墩基础为圆环形趾，系、靠船墩沉箱以上为预制块体和现浇墩台结构。

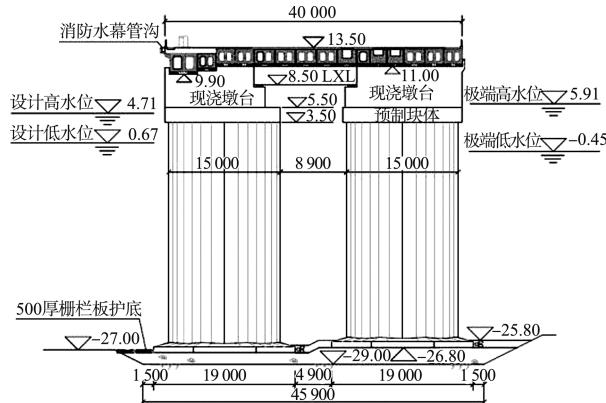


图 2 一期工作平台横断面 (高程: m; 尺寸: mm。下同)

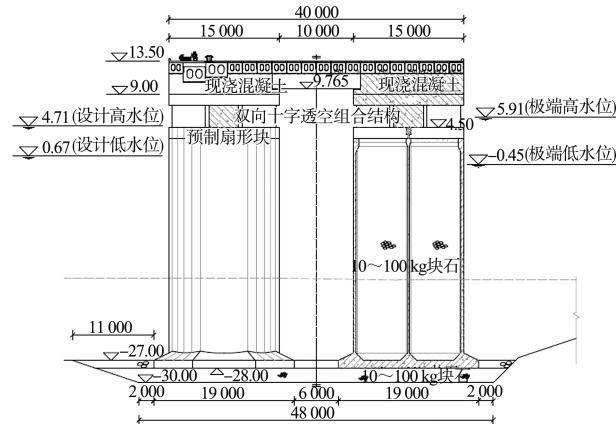


图 4 二期工作平台横断面

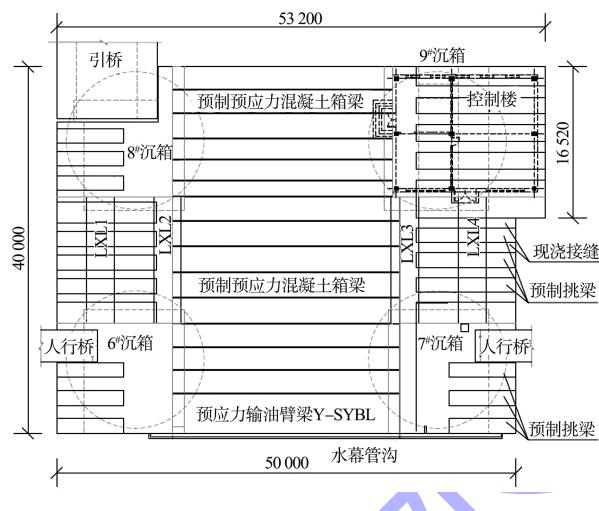


图 3 一期工作平台预制构件安装

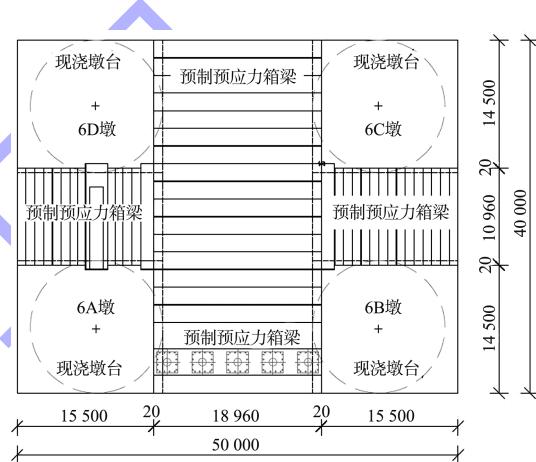


图 5 二期工作平台预制构件安装

### 3.1.2 二期工程主体结构

工作平台与一期工程类似, 基础为 4 个直径 15 m 的圆沉箱, 每个沉箱高程 4.5~7.5 m 范围为双向十字透空组合结构, 沉箱间纵横向均设置预应力混凝土箱梁, 工作平台横断面见图 4, 工作平台预制构件安装见图 5。系、靠船墩均为直径 15 m 的圆沉箱, 底部均为正八边形趾, 系缆墩高程 4.5~7.0 m 范围为双向十字透空组合结构, 其余结构与一期工程类似。

### 3.2 引桥

2 个 30 万吨级泊位分别通过 460 m 和 456 m 长的引桥与西防波堤二期连接, 引桥上部为现浇后张预应力混凝土变截面连续梁结构, 基础以高桩墩台结构为主, 局部为沉箱墩台, 并对抛石基床进行升浆处理。

一期工程 8#墩采用直径 15 m 的圆沉箱, 1#墩采用 6 根直径 1.5 m 的钢管桩, 2#~7#墩采用 8 根直径 1.5 m 的钢管桩, 一期引桥立面见图 6。

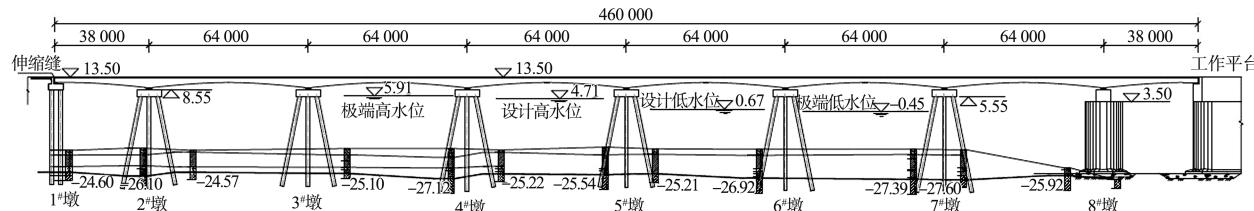


图 6 一期引桥结构立面

二期引桥 1# 墩结合防波堤施工预先安放了沉箱, 2#~8# 墩基础为 8 根直径 1.5 m 的钢管桩, 结合

现场施工情况, 钢管桩底部采用芯柱嵌岩<sup>[3]</sup> + 后注浆的工艺确保桩的承载力, 二期引桥立面见图 7。

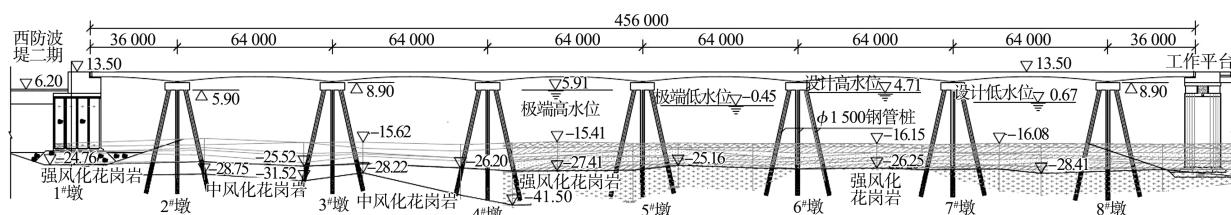


图 7 二期引桥结构立面

### 3.3 10 万吨级泊位

#### 3.3.1 一期码头结构方案

码头主体采用矩形沉箱结构, 沉箱底高程 -17.7 m, 底宽 13.1 m, 以粉土或中粗砂为基础持力层, 基床厚度 4.7 m, 沉箱上部现浇钢筋混凝土

土胸墙。码头设 H1450 两鼓一板鼓型护舷, 最小兼顾船型为 3 000 吨级, 码头西侧 150 m 每个沉箱上设 2 套护舷, 护舷最小间距 7.7 m。码头设 14 套 1 000 kN 系船柱和 8 套 2×1 000 kN 快速脱缆钩, 结构断面见图 8。

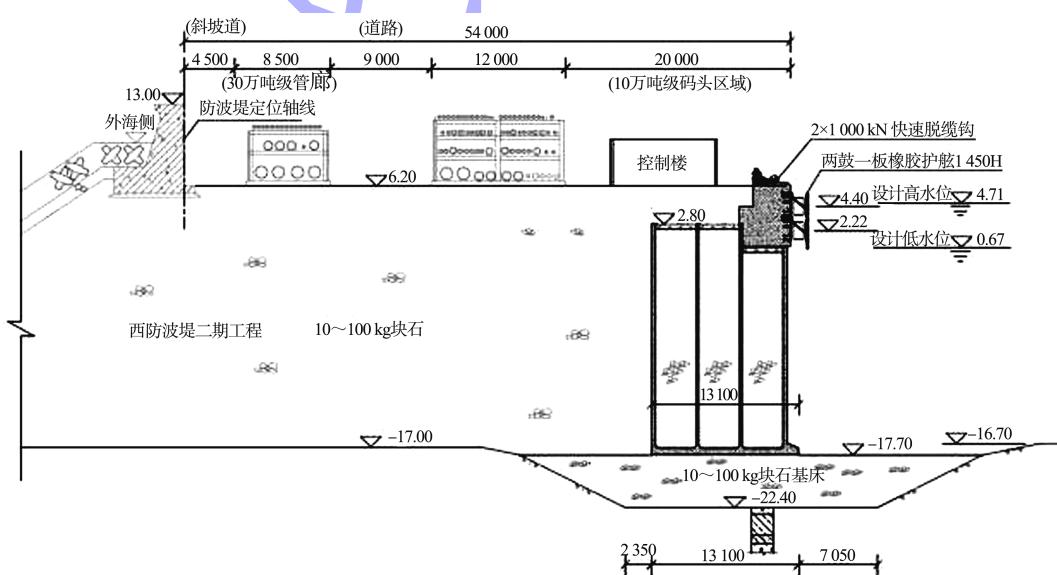


图 8 一期 10 万吨级码头断面

#### 3.3.2 二期码头结构方案

码头主体为矩形沉箱结构, 沉箱底高程 -20.1 m, 底宽 15.84 m, 持力层为强风化岩。最小兼顾船型

1 万吨级, 码头靠船设施为 1 700H 一鼓一板橡胶护舷; 码头上设置 3×1 000 kN、2×1 000 kN 快速脱缆钩和 1 000 kN 系船柱备用, 结构断面见图 9。

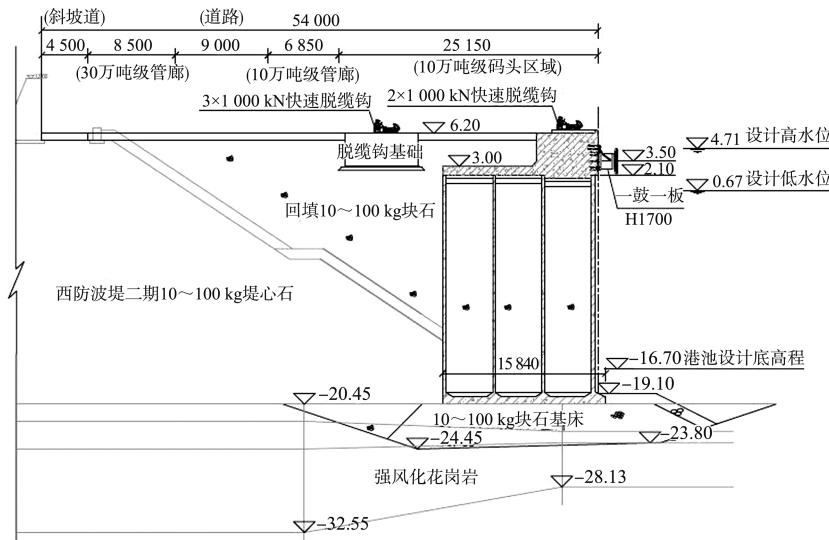


图 9 二期 10 万吨级码头断面

## 4 结构特点及创新点分析

### 4.1 30 万吨级泊位

30 万吨级泊位为外海开敞式蝶形布置, 两个泊位所处位置波浪、水流及地质等条件相近, 二期工程较一期工程设计波高增大约 6.5%。

1) 一期工程结合现场沉箱模板情况, 按最大程度采用圆形趾的原则进行设计。经核算, 仅系缆墩可采用现场圆形趾模板, 而工作平台和靠船墩地基应力已超出规范<sup>[4]</sup>容许范围, 改用正八边形趾。二期工程实施时, 无需考虑既有模板的利用问题, 全部采用了正八边形趾沉箱。

2) 二期工程工作平台墩和系缆墩顶部均采用了“双向十字透空组合消浪结构”的专利技术, 有效减小波浪壅高及结构上的波浪力, 减少地基应力, 降低了工程投资。与一期工程相比, 工作平台顶部现浇支座外伸悬臂略大, 减少了梁系间现浇混凝土量, 预制化程度进一步提高。

3) 一期工程结合现场模板, 沉箱底板厚度 0.8 m, 为减小地基应力, 将工作平台陆侧 2 个沉箱底高程抬高 0.7 m 后, 在正常配筋的情况下可满足裂缝控制<sup>[5]</sup>要求。二期工程统一将底板厚度增至 1.0 m, 可更好地满足沉箱底板裂缝控制要求, 也更有利于沉箱浮游稳定性。

4) 一期工程在工作平台和靠船墩前沿均设置了栅栏板护底, 沉箱底高程低于码头前沿底高程

0.5 m, 最大限度地利用沉箱结构的有效高度。二期工程沉箱底板加厚, 将沉箱底高程适当加大后采用大块石护底, 工程造价略有降低, 施工难度也有所减小。

5) 一期工程为满足控制楼不跨结构缝的要求, 将工作平台后方 16.52 m 范围长度加大了 3.2 m, 导致工作平台形状不规则。二期工程通过优化控制楼布局, 将控制楼长度由 15.83 m 减小至 14 m, 适当调整上部现浇墩台尺度, 满足了控制楼不跨结构缝的要求。

6) 一期工程系缆墩和靠船墩顶部设 2 m 厚异形块体, 之上现浇钢筋混凝土至墩台顶部, 主要特点是现浇量较大, 但施工工序少, 便于施工组织。二期工程系缆墩将预制异形块体厚度调整为 1.5 m, 其上采用了双向十字透空组合消浪结构, 较一期工程节省了混凝土用量, 同时也减小了系缆墩上的波浪力。

### 4.2 引桥

两期工程结合工程地质、水文条件, 经技术、经济综合比选, 引桥基础宜采用高桩墩台结构。现浇后张预应力变截面连续梁结构主要特点是跨度大、现浇工作量大、施工受风浪影响相对较小、对墩台间不均匀沉降要求严格等特点。两期工程结构类似, 在技术细节上的特点及创新点如下:

1) 一期工程 8#墩受港池疏浚边坡影响导致桩

入土深度小于弹性长桩的要求，且该墩台采用重力式结构的挖泥量显著减小，沉箱结构造价与高桩墩台接近，因此该墩台采用重力式圆沉箱结构。为满足相邻墩台间不均匀沉降不大于 2 cm 的要求，控制沉箱基床厚度不大于 1.5 m，并对基床进行了升浆处理，使用效果良好。

2)二期工程由于引桥宽度以及波高均有所增大，桩基采用灌注嵌岩桩+后注浆的方案，采用灌注嵌岩后，8#墩桩基可满足弹性长桩的要求，该墩台也采用高桩墩台结构。

3)一期工程与防波堤同步实施，1#墩台桩基采用抛石前先沉桩后灌注钢筋混凝土的方案，有效解决了防波堤抛石对钢管桩造成损伤的风险。二期工程为避免在深厚抛石堤中打设灌注桩，提前设计施工了1#墩基础结构，由于防波堤施工已清除表层淤泥，基槽开挖量较小，且沉箱结构对后期桥位局部调整适应性更强，因此在1#墩位置预先埋设了大型方沉箱。在方沉箱顶部用低强度混凝土设置临时挡浪墙，该挡浪墙作为预压荷载，消除了1#墩使用期大部分沉降，满足相邻墩台间不均匀沉降的控制要求。

4)工程实践证明，一期工程桩基施工时，大部分桩底达到了设计高程，桩基进入强风化花岗岩4 m左右，个别桩高出设计高程3~4 m，经检测承载力不满足设计要求，采取桩基内灌注混凝土等措施后，承载力达到设计要求。二期工程桩顶高出设计高程相对较多，经灌注嵌岩+后注浆处理后，桩基承载力满足设计要求。

#### 4.3 10 万吨级泊位

10 万吨级泊位位于西防波堤二期内侧，码头面总宽度 54 m，两期工程码头主体均为常规岸壁式方沉箱结构，两个泊位各有以下设计特点及创新点：

1)一期工程最小兼顾船型为 3 000 吨级，二期工程最小兼顾船型 1 万吨级，因此在护舷设置上，一期工程采用两鼓一板，防冲板底高程 0.8 m，护舷最小间距 7.7 m；二期工程采用一鼓一板，防冲板底高程 2.2 m，护舷间距 12.2 m。

2)一期工程以粉砂或中粗砂为基础持力层，可满足地基承载力要求，码头前沿沉降为 18 cm，使用期沉降量较大；二期工程为减少使用期沉降量，以强风化岩为基础持力层，通过适当加大沉箱底高程较好地控制了工程投资，达到了预期目标。

3)一期工程建成后由于横缆长度短导致船舶运动量较大，投产后在距码头前沿 20 m 的位置增加了 2 套 3×1 000 kN 快速脱缆钩，使用效果良好；结合使用经验，二期工程在设计时增设了 2 套快速脱缆钩，避免使用过程中的局部改造。

## 5 结语

1)一期和二期工程码头均采用重力式沉箱结构，引桥基础采用高桩墩台为主、重力式沉箱墩为辅的方案，在总体方案一致的前提下，细部构造上又结合各自工程特点进行优化设计。

2)二期工程工作平台墩和系缆墩上部结构采用了“双向十字透空组合消浪结构”的专利技术，有效减小了波浪壅高及波浪力。

3)在基岩面埋深 10 m 左右时，对大跨度引桥基础宜采用高桩墩台结构，局部设置重力式沉箱墩过渡，宜对重力式结构进行基床升浆或预压等处理，以减小两种结构间的不均匀沉降。

董家口港区两个 30 万吨级原油泊位均按世界上最大的 45 万 t 油船进行设计和建设，与内侧 2 个 10 万吨级泊位组合，可满足 3 000~45 万 t 各吨级船舶的靠泊作业要求，4 个泊位总通过能力达 4 950 万 t/a，满足了董家口港区原油和成品油商业储备库的油品交易需求，形成区域性油品交易的第三方物流平台。

## 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工程初步设计报告(报批稿)[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2014.
- [2] 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报告(报批稿)[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2018.

(下转第 172 页)