



# 超大型沉箱外海溜放与安装

李福文<sup>1</sup>, 戴鹏<sup>1</sup>, 任志杰<sup>2</sup>

(1. 中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071;

2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 码头的建设规模越来越大, 沉箱向超大型发展, 沉箱溜放和安装需起重船辅助。以青岛港董家口港区40万t矿石码头为例, 介绍6 000 t超大型沉箱的溜放与安装。该工程的成功实践, 为超大型沉箱的移运和安装提供了借鉴。

**关键词:** 40万t矿石码头; 6 000 t超大型沉箱; 起重船; 半潜驳

中图分类号: TU 753.61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)11-0198-05

## Launching and placing of ultra-large caissons

LI Fu-wen<sup>1</sup>, DAI Peng<sup>1</sup>, REN Zhi-jie<sup>2</sup>

(1. The Second Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China;

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

**Abstract:** With the bigger and bigger construction scale of wharves, ultra-large caissons come into being and gradually develop, which need the help of the crane barge in the process of launching and placing. Taking the ore terminal with a capacity of 400 000 DWT in Dongjiakou area of Qingdao port as an example, the paper demonstrates the launching and placing process of ultra large caissons of 6 000 t. The success of the project has provided reference for the launching and placing process of the ultra-large caissons.

**Key words:** ore terminal with a capacity of 400 000 DWT; ultra-large caissons of 6 000 t; crane barge; semi-submersible barge

近年来, 矿石运输船舶越来越大, 已开始建造40万吨级超大型矿石运输船舶, 船舶规模的发展带动码头建设规模越来越大。2010年, 青岛港董家口港区40万t矿石码头开工建设, 该码头为外海码头, 码头前沿水深-25 m, 沉箱最大尺寸达到34.05 m(长)×19 m(宽)×27.5 m(高), 形状设计为椭圆形, 以减少码头承受的水流力、波浪力。本文介绍该工程所用沉箱的起重船辅助溜放、安装, 对外海大型沉箱施工有一定的参考价值。

### 1 工程简介

青岛港董家口港区40万t矿石码头工程, 共18个沉箱, 其中引桥1个沉箱, 码头17个椭圆形沉

箱, 其中A型沉箱15个, 沉箱尺寸34.05 m(长)×19 m(宽)×27.5 m(高), 如图1所示。该沉箱空载质量6 000 t, 空载中心高度11 m, 空载吃水12.35 m; 沉箱溜放时舱内加水3.9 m, 需起重船吊力3 000 kN辅助, 溜放时沉箱吃水15 m, 定倾高度0.33 m。

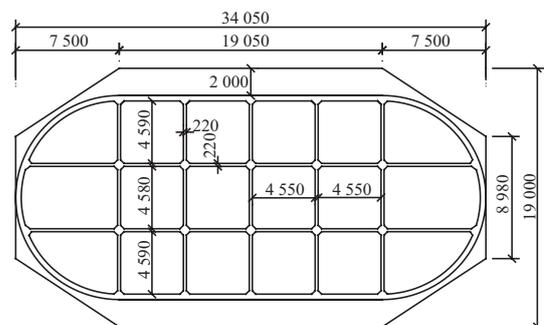


图1 超大型沉箱平面图

收稿日期: 2012-04-11

作者简介: 李福文(1980—), 男, 工程师, 主要从事港口与航道工程施工及管理。

## 2 前期准备

### 2.1 前期设计优化

#### 2.1.1 第一次优化

每个墩台最初设计为2个圆形沉箱, 单沉箱质量约3 000 t, 沉箱上部现浇支座后安装预制梁连接2个沉箱为1个墩台基础。经施工方建议, 多方研究讨论, 单墩台基础改为1个沉箱, 较修改前可提高墩台的整体稳定性, 并可减少一部分外海施工, 缩短施工周期。修改后的沉箱为椭圆形, 单沉箱质量超过6 000 t。

#### 2.1.2 第二次优化

沉箱第一次优化设计后, 单沉箱设计质量6 500 t, 经计算知其空载重心高度11.3 m, 质量与重心高度超过了本工程使用的“半潜驳7#”的使用极限(质量6 000 t沉箱, 重心高度最大11.3 m)。为使“半潜驳7#”能顺利出运本工程沉箱, 保证工程进展, 经设计单位验算后, 从3方面修改沉箱设计, 以减小沉箱质量:

1) 沉箱回填料由回填砂改为10~100 kg块石, 减少箱内回填料对沉箱隔墙的侧压力, 将隔墙厚度由25 cm改为22 cm。

2) 沉箱内隔墙的底加强角由1 m高改为0.25 m。

3) 沉箱顶层牛腿由双向牛腿改为单向牛腿, 降低重心高度与质量。

优化后的沉箱质量6 000 t, 重心高度11 m, 满足“半潜驳7#”改造后的出运要求。

### 2.2 沉箱预制技术要求

#### 2.2.1 过水孔

为减少沉箱连通箱格的惯性矩, 底层过水孔在34.05 m方向上3个舱格连通, 分为6个连通区, 各连通区之间不相通。顶层过水孔距沉箱顶面5 m, 所有舱格互相连通。

#### 2.2.2 阀门

沉箱空载吃水12.3 m, 阀门在8 m高度位置预埋; 按开始注水时水面过阀门1 m计算, 沉箱对支承梁约有1 400 t正压力, 因此注水前沉箱是稳定的。为避免起吊沉箱使用的钢丝绳碰到阀门杆, 阀门埋设在沉箱两端的半圆型外壁。

#### 2.2.3 拖点

沉箱溜放吃水15 m, 溜放后吃水17 m; 为减小沉箱拖运时的前后倾角, 拖点设置在18.5 m高度。为方便拖运, 沉箱的2个半圆型端头均预埋2个拖点。

#### 2.2.4 吊点

经验算, 沉箱溜放使用8根钢丝绳交叉挂钩, 沉箱顶面隔墙上预埋8个 $\phi 90$  mm吊点, 见图2; 顶面预埋6个 $\phi 50$  mm吊点, 便于溜放与安装辅助使用。

### 2.3 沉箱溜放与安装相关计算<sup>[1]</sup>

#### 2.3.1 沉箱的浮游稳定性计算

经计算, 沉箱空载吃水12.35 m; 起重船辅助溜放沉箱时, 吊力为3 000 kN, 沉箱加水3.9 m, 沉箱吃水15.0 m, 重心高8.05 m, 浮心高7.38 m, 定倾高度0.33 m, 满足规范要求。

#### 2.3.2 沉箱拖运主拖缆钢丝绳选用

$$A=B(T+\delta)=34.05\text{ m}\times(18\text{ m}+1.5\text{ m}\times 0.6)=643.55\text{ m}^2$$

$$F_s=AT_wv^2K/(2g)=643.55\text{ m}^2\times 1.025\text{ t/m}^3\times (1.544\text{ m/s})^2\times 0.75\div(2\times 9.8\text{ m/s}^2)=601.7\text{ kN}$$

式中:  $F_s$ 为水流阻力即拖缆力(kN);  $A$ 为沉箱受水流阻力面积, 计算构件与流向垂直平面上的投影面积( $\text{m}^2$ );  $B$ 为沉箱的水面宽度(m);  $T$ 为沉箱吃水高度(m);  $\delta$ 为沉箱前涌水高度, 通常取0.6倍可能出现的波高(m), 波高取1.5 m;  $T_w$ 为海水的密度, 取 $1.025\text{ t/m}^3$ ;  $v$ 为沉箱对水的相对速度, 相对速度取3 kn, 即 $1.544\text{ m/s}$ ;  $K$ 为挡水形状系数, 矩形为1.0, 流线型为0.75。本沉箱取0.75。

采用 $\phi 66(6\times 37(a))$ 类纤维芯、钢丝绳公称抗拉强度为1 670 MPa)钢丝绳, 其抗拉强度为2 460 kN, 安全系数 $n=2\ 460/601.7=4.1>4$ , 满足使用要求。

本工程沉箱由起重船辅助溜放后, 直接由起重船移位带至安装位置, 拖运为备用方案。

#### 2.3.3 沉箱吊辅溜放钢丝绳选用

起重船辅助溜放沉箱时, 吊力3 000 kN, 考虑沉箱预制有偏差及其他不利因素, 计算时按最大吊力350 t考虑。起重船吊扶沉箱使用的钢丝绳, 拟选用8根35 m长 $\phi 90$  mm的铅封压制接头钢

芯钢丝绳, 8根钢丝绳按6点受力计算(吊点距起重船吊钩水平距离10.679 m, 见图2):

$$\text{吊高} h = (35 \text{ m} \times 35 \text{ m} - 10.679 \text{ m} \times 10.679 \text{ m})^{1/2} = 33.331 \text{ m}$$

$$\text{钢丝绳与水平面夹} \theta = \arccos(10.679 \text{ m} / 35 \text{ m}) = 72.23^\circ$$

$$\text{沿钢丝绳轴线方向受力} F = (3500 \text{ kN} / 6) / \sin(72.23^\circ) = 612.5 \text{ kN}$$

$\phi 90 \text{ mm}$  (6×37(a)类钢芯) 钢丝绳, 公称抗拉强度1 770 MPa, 整根钢芯钢丝绳的最小破断拉力为4 730 kN, 使用该钢丝绳的安全系数为 $n=7.7$ , 满足使用要求。

起重船有2个吊钩, 8根钢丝绳采用交叉挂钩, 如图2所示。

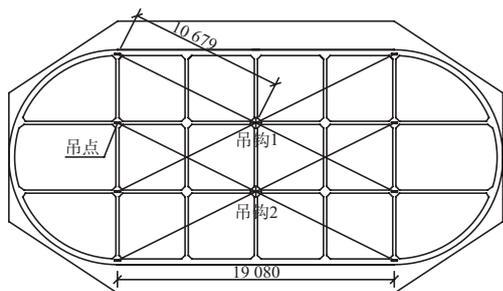


图2 起重船辅助沉箱溜放交叉挂钩示意

### 2.3.4 沉箱溜放吊点受力计算

吊点采用 $\phi 90 \text{ mm}$ 圆钢。

需要吊点的受力面积:  $A = 3F / 2nf_y = 4 166.7 \text{ mm}^2$ , 其中: $F$ 为构件总重力设计值(N);  $f_y$ 为I级钢筋的抗拉强度设计值, 取210 MPa;  $n$ 为吊点数, 沉箱共8个吊点, 按6点受力进行计算。

受力圆钢最小半径 $r = 36.4 \text{ mm}$ 。 $\phi 90 \text{ mm}$ 圆钢 $r = 45 \text{ mm} > 36.4 \text{ mm}$ , 满足使用要求。

## 3 沉箱溜放

6 000 t超大型沉箱溜放流程与普通沉箱溜放流程在时间与具体操作细节上有不同之处, 此处主要介绍溜放时的不同点。

### 3.1 选择沉坞坑

沉箱属于超大型沉箱, 出运风险大, 选择沉箱溜放的沉坞坑时必须严格遵守规范要求。根据计算, 起重船辅助溜放沉箱时“半潜驳7#”需要

的安全水深: 5.5 m (半潜驳型深) + 17.0 m (坞内吃水) + 1 m (富裕水深) = 23.5 m。根据现场情况, 沉坞坑选在水深-20 m的施工现场水域, 沉箱溜放时需3.5 m的潮高, 因此选择高平潮期间进行沉箱溜放。

### 3.2 “半潜驳7#”注水时间的选择

本沉箱溜放临近“半潜驳7#”的溜放极限, 且溜放地点流速比较大, 如果提前压水将对“半潜驳7#”产生很大的外力, 势必影响“半潜驳7#”稳性。为保证“半潜驳7#”的稳定, 在低平潮前后流速较小期间, 进行“半潜驳7#”在5.5~7.0 m吃水范围内的注水, 流速变大前保证沉箱吃水不小于1 m。

### 3.3 半潜驳和沉箱内注水

沉箱溜放前, 作业人员在低平潮前1.5 h到“半潜驳7#”, 给起重船带抽心缆; 然后“半潜驳7#”注水下潜至距离阀门1 m时, 停止注水下潜, 起重工通过爬梯到达沉箱顶面。起重工就位后, “半潜驳7#”继续注水下潜至过阀门口1 m时停止注水; 起重工打开各阀门, 1 min后关闭。如阀门不能关闭或关闭后有漏水现象, “半潜驳7#”立即停止注水、排水起浮, 对阀门进行修理。如各阀门均完好, 则重新打开各阀门向沉箱内注水, 起重工使用测水板测量各舱内水面高度, 各舱内注水深度达到要求的3.9 m后, 各阀门关闭, “半潜驳7#”继续注水下潜。

沉箱内注水时注意: 1) 各舱内注水应严格控制, 误差为 $\pm 5 \text{ cm}$ ; 2) 为保证注水平衡, 所有阀门开关速度一致; 3) 为防止阀门全打开损坏阀门, 所有阀门预留约5圈不开; 4) 注水深度临近要求时, 先调小阀门, 慢慢注水, 直到注水深度满足要求。

### 3.4 起重船挂钩、半潜驳继续注水

沉箱吃水达到12 m时, “半潜驳7#”停止注水, 起重船移位靠近半潜驳, 进行挂钩。8根钢丝绳采用交叉挂钩, 见图2。如遇海况较差, 双钩分别单独挂钩。挂钩后, 起重船双钩按1 000 kN, 2 000 kN, 3 000 kN递增吊力, 观察各吊点与钢丝绳有无异样变化。如各吊点和钢丝绳等均无异样

变化, 起重船双钩保持 3 000 kN 吊力, “半潜驳 7<sup>#</sup>”继续注水下潜。沉箱吃水达到 14 m 左右时, 起重工长与起重船船长观察现场水域情况, 如海流较小, “半潜驳 7<sup>#</sup>”继续注水进行沉箱溜放; 如果海流较大, 作业危险性较高, “半潜驳 7<sup>#</sup>”停止注水, 等待海流变小时再注水溜放沉箱。

### 3.5 沉箱浮起、溜放

高平潮期间, “半潜驳 7<sup>#</sup>”下潜至一定深度后, 沉箱自“半潜驳 7<sup>#</sup>”慢慢浮起, 沉箱浮起至距离“半潜驳 7<sup>#</sup>”台车顶面大于 50 cm 后, 起重船增加吊力至 3 500 kN, 将沉箱与台车间隙瞬间加大 10 cm, 尽量减少涌浪作用下沉箱底磕碰“半潜驳 7<sup>#</sup>”支承梁和台车。起重船缓缓绞动后锚后退, 将沉箱缓慢吊离“半潜驳 7<sup>#</sup>”, 起重船移位时保持 3 500 kN 吊力。

沉箱离开“半潜驳 7<sup>#</sup>”约 30 m 时, 起重工打开沉箱阀门开始向沉箱内注水, 注水过程中起重船严禁动船, 继续保持 3 500 kN 吊力不变。注水至 6.5 m 深后停止注水, 起重船慢慢减小吊力至 1 000 kN, 此时沉箱处于浮游稳定状态。起重船辅助沉箱溜放见图 3。



图 3 起重船辅助沉箱溜放

## 4 沉箱安装<sup>[1-2]</sup>

### 4.1 沉箱安装前准备

1) 潜水员水下重新检查基床, 基床面不得有回淤沉积物, 如有影响沉箱安装的回淤物, 应用抽泥泵进行清淤。

2) 沉箱溜放后, 起重船吊扶沉箱移位至大致安装位置, 起重船在相邻已安装的沉箱上带抽心缆。

3) 低平潮前 2 h 左右, 沉箱大致就位, 开始

注水。沉箱的安装高程 2.65 m, 沉箱顶面高程达到 4 m 时停止注水。用 2 台 GPS 背包辅助安装沉箱, 1 台架在沉箱中心点, 另 1 台架在沉箱一端中心距外壁 10 cm 处, 准确定位沉箱中心点和沉箱安装平面扭角。

### 4.2 沉箱安装

#### 4.2.1 沉箱就位

用 GPS 背包精确就位, 误差 1 m 以内时, 沉箱继续注水, 注水过程中起重船吊力逐渐增大至 2 000 kN 并保持 2 000 kN 吊力不变。GPS 同步监测待安装沉箱 4 个角的顶面高程, 如注水不平衡, 可通过调节阀门控制。沉箱顶面高程达到 3.0 m 时, 停止注水。

#### 4.2.2 起重船落钩安装沉箱

沉箱顶面高程至 3.0 m 时, 与安装高程相差 35 cm, 起重船 2 000 kN 吊力可起吊沉箱 42 cm; 如果起重船此时落钩, 沉箱可以落到基床上。GPS 辅助沉箱精确定位, 如位置偏差 30 cm 以内, 起重船迅速落钩一次。如沉箱稳定, 则测量沉箱高程和偏位; 如沉箱不规则晃动激烈, 说明沉箱尚未完全接触基床, 将阀门打开, 缓慢注水。沉箱稳定后立即停止注水, 避免注水过多导致起重船难以二次起吊沉箱, 然后测量沉箱高程和偏位。如沉箱高程和偏位满足规范要求, 沉箱安装完毕; 如不满足, 则需进行起吊、二次调整。

起重船落钩安装沉箱时, 会因基床局部不平整等原因, 导致沉箱发生位移, 应注意观测沉箱的位移方向和位移量, 便于再次起吊后, 起重船落钩安装沉箱时提前在反方向预留位移量。

#### 4.2.3 沉箱二次调整

起重船加大吊力, 吊起沉箱后, 根据第一次落钩安装时的数据, 提前在沉箱位移方向的反方向预留位移量, 然后落钩安装沉箱, 沉箱触底稳定后测量沉箱高程和偏位。如沉箱高程和偏位符合要求, 则沉箱安装完毕; 否则加大吊力再次起吊、调整, 直至沉箱高程和偏位符合要求。

二次安装沉箱时, 可借助锚艇辅助, 沉箱临界离地状态时对基床正压力较小, 摩擦力也较小, 因此锚艇可通过顶推辅助沉箱安装。

### 4.2.4 注水

沉箱安装后，为了防止注水不均匀，局部压塌基床，前期可缓慢注水。注水过程中，观察沉箱的偏位情况，5~10 min后，如沉箱没有明显偏位，加速注水，注水完成后再次测量沉箱高程和偏位。起重船辅助安装沉箱见图4。



图4 起重船辅助安装沉箱

## 5 结语

6 000 t沉箱溜放与安装宜在小潮汛期间施工，如逢大潮汛期间施工，现场应配3艘以上拖

（上接第193页）

### 2 解决方法

撕排原因主要为混凝土联锁块软体排重力仅靠纵向加筋条承受，在施工过程中出现排体受力不均，致使纵向加筋条破坏后撕排，为此，可考虑2种解决思路：

1) 增加排体纵向承载力。

具体有2种可供考虑的思路：①加强加筋条，采用更高强度的加筋条<sup>[3]</sup>；②或在排体外均匀增加几条活动绳索，其在卷排时即随系结环系结，再在其上打结，混凝土单元块在打结处上游系结，利用活动绳索承受部分混凝土块拉力。

2) 增加排体横向承受力。

通过在排体上均匀增加横向受力活动加筋条，将混凝土块系结于横向加筋条上，将混凝土块的重力部分分摊于横向活动加筋条上，以此来减小纵向加筋条的承受力。

比较而言，增加纵向加筋条的强度最为简便，但在排体已制作完成情况下，再行增加筋条难度较大，由于排体四周均布置有绑扎环，可采用增加活动绳索或加筋条的措施起到补救效果，比较而言，在纵向增加活动绳索的方法需要在卷

轮、1艘锚艇。半潜驳下潜期间，可能会发生走锚现象，需拖轮顶推半潜驳保持不移位，锚艇重新抛锚；起重船吊扶沉箱到安装位置后，作用在沉箱上的海流力可能会导致起重船双钩吊力不平衡，需要拖轮逆流顶推，抵消海流力作用。

6 000 t超大型沉箱的溜放与安装，国内没有类似经验可借鉴。与传统沉箱溜放与安装工艺相比，本工程有一些改进之处，如起重船吊扶沉箱使用钢丝绳而未使用吊架、拖轮和锚艇配合安装沉箱等；本工程6 000 t沉箱的溜放与安装的顺利完成，说明该工艺是安全可行的，希望能对外海超大沉箱的溜放与安装起到一定的参考作用。

### 参考文献：

[1] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].  
[2] 交通部第一航务工程局. 港口工程施工手册[M]. 北京：人民交通出版社，1994.

（本文编辑 武亚庆）

排和沉排过程中均要作业，而在横向增加活动加筋条的措施则在施工过程中相对容易，故在口岸直水道落成洲守护工程施工中采用了增加横向活动加筋条的措施进行施工，解决了撕排问题。

### 3 结语

采用增加横向活动加筋条的措施达到分散部分纵向荷载，避免施工过程中混凝土联锁块软体排受力不均而发生撕排现象的目的，方法简单，费用节约，不失为工程建设中因意外造成混凝土联锁块软体排撕排现象的比较好的解决方法。

### 参考文献：

[1] 袁达全, 雷雪婷, 耿嘉良, 等. 长江口岸直水道航道治理落成洲守护工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2010.  
[2] 张为, 李义天. 系混凝土块压载体软体排受力特性研究[J]. 水运工程, 2006(1): 9-15.  
[3] 顾保健, 孟相国, 张香月. 深水无掩护海区联锁块软体排结构优化分析[J]. 水运工程, 2012 (2):30-34.

（本文编辑 武亚庆）