

# 没顶沉箱安装施工技术

李宇展

(中交一航局第五工程有限公司)

**摘要:** 为了改进大型没顶沉箱的安装工艺,依托锦州港龙栖湾港区起步工程,结合施工过程和沉箱安装质量,从围檩的设计及加工、围檩运输及支立、沉箱安装全过程进行分析,优化方案并解决施工中发现的问题。采用钢结构围檩配合钢模板对沉箱进行加高,实现了钢模板、围檩分次安装,有效降低了起重重量。同时,围檩可以重复使用,进一步降低了施工成本。该工艺不仅提高了施工效率,还为沉箱安装的稳定性和质量提供了有力保障。

**关键词:** 没顶沉箱;沉箱安装;围檩设计;围檩支立;围檩拆除

## 0 引言

沉箱安装作为重力式码头、护岸等施工的关键环节,其施工质量对项目整体质量至关重要。通过采用加工钢模板和在水上支立围檩模板的方法,保证了大型没顶沉箱能够按照常规沉箱安装工艺进行施工。这种方法不仅使沉箱安装的顶标高满足赶潮水安装沉箱的条件,而且降低了施工成本,提高了施工速度,还实现了沉箱的可重复起浮安装。没顶沉箱施工案例相对较少,通过本文的研究,为类似工程提供了一种可行的解决方案,也期望能够推动沉箱安装工艺的改进和优化。

## 1 工程简介

锦州港龙栖湾港区客货滚装(兼通用)泊位工程码头采用重力式沉箱结构,全长 326.59 m,共计 18 座沉箱,其中标准沉箱共 15 座,为 A 型沉箱,尺寸为 18.35 m×15.15 m×15.6 m;异形沉箱共 3 种,分别为 B、C、E 型沉箱,3 种型号沉箱各 1 座。其中 A、C 型沉箱安装顶标高为+2.0 m, B、E 型沉箱安装顶标高为+0.1 m。

龙栖湾设计低水位+0.34 m,沉箱安装期间安装顶标高+0.1 m 的沉箱需完全沉入水中。沉箱安装时,于沉箱顶口标高低于自然水面,沉箱入水量瞬时过大会造成沉箱偏载,从而导致沉箱倾覆的安全事故。为确保沉箱顺利安装,设计沉箱接高围檩,形成止水带,避免沉箱顶口进水,从而使沉箱安装顺利进行。

## 2 施工方法

### 2.1 没顶沉箱施工工艺流程

没顶沉箱施工工艺流程为:围檩设计→围檩

加工→沉箱接套→沉箱存放→围檩运输→围檩支立→沉箱安装→围檩拆除。

### 2.2 围檩设计及加工

#### 2.2.1 围檩设计

沉箱安装顶面标高为+0.1 m,根据施工潮水要求,安装完围檩顶标高应达到+2.0 m 时方满足沉箱安装施工要求,故设计围檩模板高 2.0 m<sup>[1]</sup>。

围檩模板设计原理:防止在沉箱安装过程中,潮位高于沉箱安装顶标高,海水倒灌入沉箱,导致沉箱没顶发生事故。因此围檩模板需有防水功能,且在拖运、安装过程中,保证模板不会变形,即围檩模板设计需考虑安装过程的水压力、沉箱拖带过程船舶挤靠力及安装沉箱过程中的滑车拖拽力。

围檩模板分成 2 部分,一部分将沉箱四周加高并防水,共 4 片;另一部分为 4 片模板的内支撑。内支撑做成一个井字架,井字架包含内支撑和沉箱安装操作平台的功能。

围檩模板主要受力为水压力、船舶撞击力以及系缆力(拖运或调整沉箱时牵牛拖拽力)。水压力按静水压力进行计算,当沉箱安装时,潮位达到+2.0 m 时,静水压力为最大值  $P=20.6 \text{ kN/m}$ 。

船舶撞击力估计为 10 t,作用面积为 1 m<sup>2</sup>,故船舶撞击力为  $N=100 \text{ kN/m}^2$ 。

系缆力估计为 10 t,作用于围檩上吊环上,故系缆力为  $F=100 \text{ kN}$ 。

模板设计荷载分为静荷载水压力  $P=20.6 \text{ kN/m}$ ;动荷载船舶撞击力  $N=100 \text{ kN/m}^2$ ;静力荷载分项系数取为 1.2,动力荷载分项系数取为 1.4<sup>[2]</sup>。

作用力设计值为:

$$q=1.2 \times 20.6 + 1.4 \times 100 = 164.72 \text{ kN/m}^2$$

面板可按简支跨计算, 应验算跨中和悬臂端的最不利抗弯强度和挠度, 并符合下列规定:

#### 1) 抗弯强度计算

钢面板抗弯强度计算公式:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_n} \leq f$$

式中:  $M_{\max}$  为最不利弯矩设计值, 取均布荷载与集中荷载分别作用时计算结果的大值,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ,  $M_{\max} = \frac{1}{8} q l^2 = 185.31 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ;  $W_n$  为净截面抵抗矩,  $\text{m}^3$ ,  $W_n = \frac{1}{6} h b^2 = 4.16 \text{ mm}^3$ ,  $b$  取 1 mm,  $h$  取 5 mm;  $f$  为钢材的抗弯强度设计值,  $\text{N/mm}^2$ ,  $f$  取  $215 \text{ N/mm}^2$ 。

计算得,  $\sigma = 44.55 \text{ N/mm}^2 < 215 \text{ N/mm}^2$ , 故面板抗弯强度合格。

#### 2) 挠度验算

$$v = \frac{5 q_k L^4}{384 E I_x} \leq [v]$$

式中:  $q_k$  为恒荷载均布线荷载标准值,  $\text{N/mm}^2$ ;  $E$  为弹性模量,  $\text{N/mm}^2$ ,  $E$  取值为  $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ;  $I_x$  为截面惯性矩,  $\text{mm}^4$ ,  $I_x = \frac{1}{12} b h^3 = 10.42 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ;  $L$  为面板计算跨度,  $\text{mm}$ ;  $[v]$  为容许挠度,  $\text{mm}$ 。

计算得:  $v = 0.0517 \text{ mm}$ ,  $0.18 \text{ mm} < 1.5 \text{ mm}$ , 故面板挠度合格。

通过受力计算, 得出采用 4 mm 厚钢板作为板面、50 mm × 30 mm 方管为模板加强肋、[20 作为模板立柱。

### 2.2.2 围檩加工

#### 1) 板面拼接

采用 4 mm 厚的钢板进行拼接, 钢板原材尺寸为 8 m × 1.5 m。

板面拼接期间, 将板面平铺于底胎上面, 板面间隔 600 mm, 采用点焊进行拼接。板面整体拼接完成后, 再将拼接处焊接, 焊缝应饱满。

#### 2) 板面加强肋

板面采用 50 mm × 30 mm 的方管作为模板板肋进行板面的加强, 使用 [20 为横连杆作为整个模板的受力柱, 模板的两侧采用双 [20 进行加强。模板肋铺设原则为模板短边周圈不得切断, 模板长方向板肋进行焊接。模板板肋焊接完成, 于板肋上

加焊 [20 作为模板横向桁架, 于沉箱仓隔隔墙处焊接 [20 作为模板竖向桁架。

#### 3) 止水系统

围檩模板的止水分 2 个部分, 一部分为模板与沉箱的连接位置, 另一部分为模板与模板之间的连接位置。模板与沉箱连接位置采用 [20 扣棉毯止水, 见图 1。于陆上先加工止水棉毯, 采用 3 cm × 5 cm 木方作为中心骨架, 用棉毯包裹木方, 形成尺寸为 10 cm × 12 cm 的方形止水条。模板与模板之间连接采用螺栓紧固, 中间夹棉毯进行止水, 见图 2。

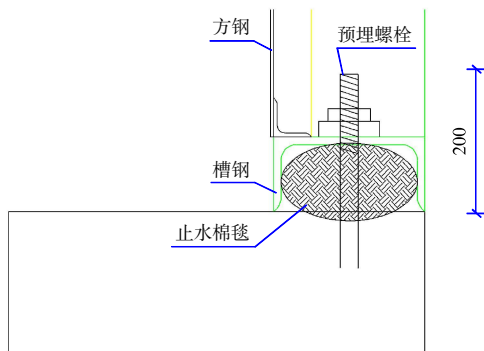


图 1 止水示意图

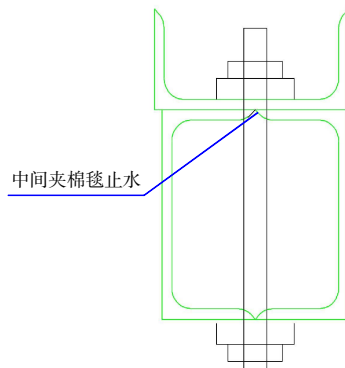


图 2 模板抱角连接止水示意图

#### 4) 加固连接系统

模板与沉箱之间、模板与模板之间的连接方式为螺栓铰接。模板间支立井字架形成刚性支撑加固。沉箱于预制场出运前, 利用风钻参照设计图纸钻取深 200 mm、孔径 50 mm 的螺栓孔洞。将孔内水及渣子清理干净, 植入螺栓。

模板与模板之间连接采用直径 25 mm 螺栓配合螺母进行加固。4 片模板中间采用井字架作为刚性支撑。井字架采用 [10 加工制作, 尺寸与沉箱

隔墙尺寸相同。

2.3 围檩模板运输及支立

2.3.1 围檩模板运输

围檩模板最大尺寸为长 18 m、高 2 m。井子架的尺寸为 17.55 m×13.1 m×2 m。根据船机手册查得，方驳(2 000 t)的甲板有效面积为 38 m×13.6 m，为保证模板正常的运输作业选择方驳(2 000 t)作为运输方驳，拖轮配合。

2.3.2 围檩模板支立

1) 方驳驻位

根据本项目工况，统计吊装重量、吊距，见表 1。本工程使用 50 t 履带吊进行围檩模板支立。

表 1 围檩模板的重量及工况表

模板	重量/t	吊距/m
中间井字架	5.0	11
前后片模板	2.5	18
侧片模板	1.9	11

根据表 1 数据，选择方驳船头顶靠沉箱方式进行驻位，驻位示意图见图 3。

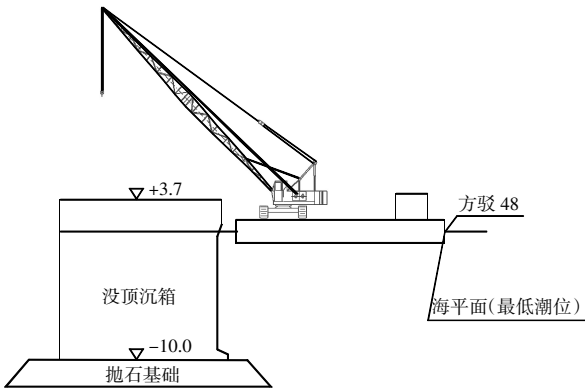


图 3 方驳驻位示意图

2) 围檩模板支立

方驳驻位完成后，进行模板吊装施工。根据受力计算模板吊装的锁具，采用 4 根长 8 m， $\phi 12$  mm(6×19)的铁芯钢丝绳进行模板吊装<sup>[9]</sup>。吊装时，保证钢丝绳水平角度大于 60°。准备 2 根长 30 m 的尼龙绳作为牵引绳，绑在模板两端。准备止水棉毯，利用 3 cm×7 cm 木方作为止水棉毯的木芯，根据棉毯遇水膨胀的特性作为止水带。

于沉箱顶口上端铺设止水棉毯。在预埋螺栓处将止水棉毯切断方便连续铺设。螺栓铰接处止水棉毯切断且模板开孔，因此为漏水集中点。为

避免此处漏水，采用棉毯制作单独的止水带，放置在沉箱预埋螺栓处，采用发泡进行二次封堵，形成严密止水。

施工准备完成，方驳 48 上的起重吊车落钩至方驳 117 上，由起重人员将钢丝绳一端套在起重吊车吊钩上，另一端利用卡环连接于模板的吊点。检查牢固后，由专职起重指挥人员指挥进行模板的吊装施工<sup>[4]</sup>。

模板安装顺序为首先安装后片模板，安装井字架，铺设施工平台，安装两侧片模板，最后安装前片模板。

后片模板安装时，由 2 名工人分别位于方驳 117 及沉箱上操作晃绳。吊车司机根据起重指挥人员调整把杆角度及大钩高度，操作晃绳人员需稳定模板，防止水上支立模板时晃动过大造成人员打击伤害。在模板距离沉箱剩余 300 mm 时，吊车停止颠钩。施工人员于两侧把扶模板，调整模板前后及左右位置，确保预留孔与预埋螺栓相对应。调整完成后，根据指挥人员手势，吊车司机进行颠钩。在模板进螺栓孔后，施工人员进行隔墙处螺栓紧固作业。

后墙模板加固完成后进行井字架吊装。井字架为正方形结构，需要进行 4 点吊装，钢丝绳采用吊装模板钢丝绳。施工时，同样由吊车颠钩至方驳 117 上，起重人员挂钩，施工人员打晃绳，通过起重指挥安装井字架于沉箱仓隔隔墙上。井字架未设置锚杆，靠自重稳定，为确保井字架不水平运动，采用预留钢筋进行左右方向的固定。

井字架安装完成后，沉箱上已经没有可以移动的平台，故需利用厚 5 cm、宽 30 cm 的木板搭设操作平台。

在操作平台搭设完成后，支立 2 个侧片模板，侧片模板支立时，利用方驳 117 作为平台进行打晃绳操作。采用同样方法支立前片模板。

在围檩模板支立完成后，利用操作平台将每个预埋螺栓紧固，保证围檩模板的牢固性。

2.4 沉箱安装

1) 沉箱抽水

抽水使用 6 台 37 kW 的浮式泵，抽水时间预计为 2 h，沉箱拖运及安装需 3 h。沉箱安装时，

水位不高于围檩模板顶标高(+2.0 m)。

锦州港地区属于半日潮, 2次高潮间时差为12 h 25 min。沉箱存放时, 顶标高为+3.5 m, 围檩模板顶标高为+5.5 m, 抽水时不需赶潮水。为保证设计低水位时沉箱完成安装施工, 需在前一设计高水位时进行沉箱抽水、拖运作业。沉箱安装全过程用时5 h, 小于6 h 13 min, 满足施工要求。

## 2) 沉箱拖运、安装

沉箱抽水完成后, 起重人员利用卡环和钢丝绳扣将拖轮的缆绳与沉箱吊点交叉连接。沉箱由拖轮跨拖至沉箱安装位置, 方驳及沉箱驻位稳定后, 开沉箱进水截门进行压水安装, 安装时注意各舱压水速度, 保证沉箱平稳下沉。

若沉箱安装不符合规范, 重新抽取起浮, 再重复安装步骤重新安装<sup>[1]</sup>, 直至安装合格。

## 2.5 围檩模板拆除

围檩模板拆除顺序为: 拆除后墙模板→拆除两侧墙模板→拆除井字架→拆除前墙模板。

在拆除后墙围檩模板时, 起重人员预先将钢丝绳与模板利用卡环连接, 在水下将底角螺母和模板连接抱角螺母拆卸, 待全部检查完成后, 起重指挥人员指挥吊车吊装模板至方驳117上。

后墙模板拆除完成后, 潜水人员分别拆除两侧片模板、井字架及前墙模板, 拆除方式与后墙模板相同。

## 3 施工问题及方案优化

### 3.1 施工问题

#### 1) 预埋件最大偏差1 cm

沉箱在埋放预埋件施工时, 需封仓后再施工。此时, 沉箱处于漂浮、倾斜状态, 且沉箱有定倾高度, 故预留孔施工时, 水准仪及经纬仪测量偏差较大, 造成预埋件安装误差较大。

#### 2) 井字架按沉箱尺寸加工

加工井字架时, 未考虑运输方便性, 仅能采用水上大型方驳进行运输施工。

#### 3) 木板搭设操作平台没有安全围挡

利用木板搭设的操作平台为跳板形式, 周围无法安装铁制防护围栏, 人员在操作平台上施工时安全性较差。

#### 4) 沉箱为海上独立墩式安装

仅制作了一套围檩模板, 在B型沉箱安装完成后, 为保证E型沉箱的安装, 只能在拆除B型沉箱围檩模板后安装E型沉箱。故而, E型沉箱安装时没有安装手扳葫芦调整沉箱缝宽、前沿线的固定支点。

#### 5) 沉箱模板在风浪作用下损坏

井字架的安装使得模板在受到外侧波浪作用力时, 形成支柱作用, 但由于未与井字架进行刚性连接, 故在反向作用力时, 17.55 m长模板很容易受波浪力损坏。

## 3.2 方案优化

针对现场出现的问题, 结合围檩模板的结构, 对没顶沉箱安装方案做出优化: 1) 模板开孔时增大模板开孔尺寸, 根据所开孔洞加工螺栓垫片; 2) 井字架按结构分块加工, 中间利用螺栓铰接形成整体; 3) 围檩模板上预留螺栓孔, 制作铁制操作平台, 通过预留螺栓连接操作平台; 4) 制作至少2套围檩模板, 首座沉箱安装完成后, 围檩模板不拆除, 形成次座沉箱的安装平台; 5) 井字架与围檩模板利用螺栓连接, 使得围檩模板与井字架形成刚性的整体结构; 6) 围檩模板止水采用止水橡胶代替棉毯, 并镶嵌于模板上, 施工过程可省去铺设止水棉毯步骤, 方便施工操作。

## 4 结语

在龙栖湾项目码头没顶沉箱安装施工中, 成功应用了围檩工艺, 显著提高了施工进度和沉箱安装质量。实践表明, 与传统的起重船或半潜驳安装方案相比, 没顶沉箱接高围檩工艺在成本方面具有显著优势。这些成果的取得, 不仅为类似工程提供了宝贵的经验, 也为沉箱安装工艺的改进和优化奠定了基础。然而, 在施工过程中也发现了一些问题。例如, 围檩井字架较大; 预埋件安装精度不足。针对这些问题, 后续研究应重点关注围檩的轻便化设计, 以提高周转速率, 并加强预埋件安装精度的控制。

## 参考文献:

- [1] JTS 167-2—2009, 重力式码头设计与施工规范[S].
- [2] JGJ 162—2008, 建筑施工模板安全技术规范[S].
- [3] JGJ 276—2012, 建筑施工起重吊装工程安全技术规范[S].
- [4] JTS 205-1—2008, 水运工程施工安全防护技术规范[S].