

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^[1]。

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 $P=20.6$ kN/m。

船舶撞击力估计为10 t,作用面积为1 m²,故船舶撞击力为 $N=100$ kN/m²。

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

模板设计荷载分为静荷载水压力 $P=20.6$ kN/m;动荷载船舶撞击力 $N=100$ kN/m²;静力荷载分项系数取为1.2,动力荷载分项系数取为1.4^[2]。

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, 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, N/mm^2 , f 取 215 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

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

式中: q_s 为恒荷载均布线荷载标准值, N/mm^2 ; E 为弹性模量, N/mm^2 , E 取值为 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$; I_x 为截面惯性矩, 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, mm ; $[v]$ 为容许挠度, 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。

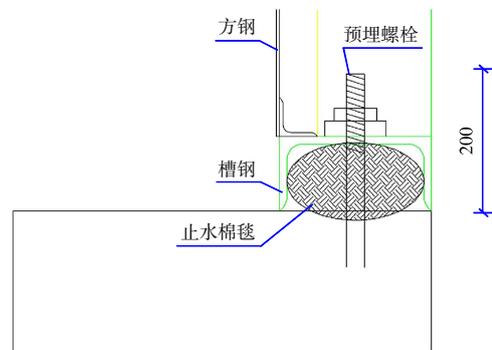


图 1 止水示意图

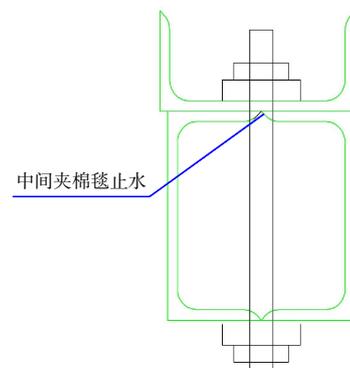


图 2 模板抱角连接止水示意图

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。

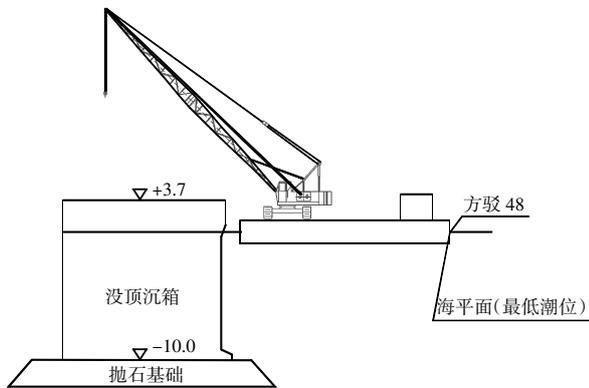


图 3 方驳驻位示意图

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^[9]。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^[9]。

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^[1], 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].