



大型圆沉箱构件出驳与安装施工

张功成，邓安华，王忠秀

(中交二航局第一工程有限公司，湖北 武汉 430012)

摘要：大型沉箱结构具有整体稳定性好、施工速度快、经久耐用等特点，现已被广泛应用于重力式码头工程中。结合广西防城港钢铁基地项目专用码头工程实例，介绍大型圆沉箱构件出驳与安装的施工要点，概括了施工中需要注意的一些事项，为类似工程提供借鉴。

关键词：圆沉箱；出驳；安装

中图分类号：U 655.4

文献标志码：B

文章编号：1002-4972(2015)08-0119-04

Barging out and installation construction of large circular caisson component

ZHANG Gong-cheng, DENG An-hua, WANG Zhong-xiu

(The First Construction Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430012, China)

Abstract: Characterized by good overall stability, fast construction and strong durability, the large caisson structure has been widely used in the gravity wharf engineering. Based on Fangchenggang iron and steel base dock project in Guangxi, this paper introduces the key points of barging out and installation construction for the large circular caisson components and summarizes matters of attention in construction, to provide reference for similar projects.

Keywords: circular caisson; barge out; installation

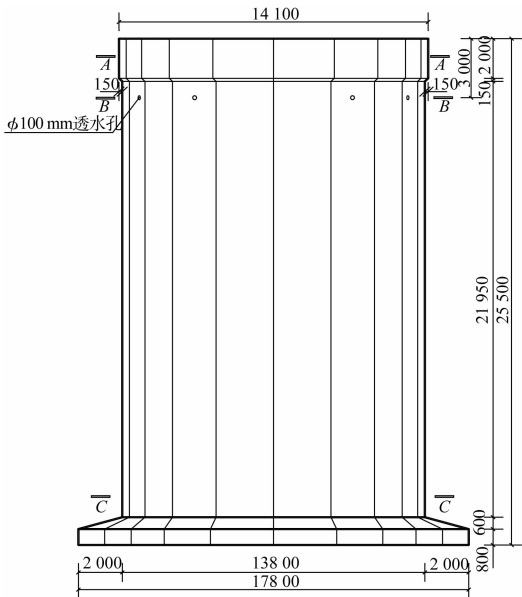
1 工程概况

广西防城港钢铁基地项目专用码头平台采用圆筒沉箱重力式结构，墩式布置，预制沉箱共 31 件，沉箱底部为正八边形，圆筒直径 13.8 m、高 25.5 m，单件最大质量 2 350 t（图 1）。沉箱的出运采用气囊直接顶升脱模，气囊出运上驳施工工艺。5 000 吨级半潜驳靖海号运输，300 t 起重船安装。

2 施工工艺及施工要点

2.1 沉箱浮运、下潜出驳

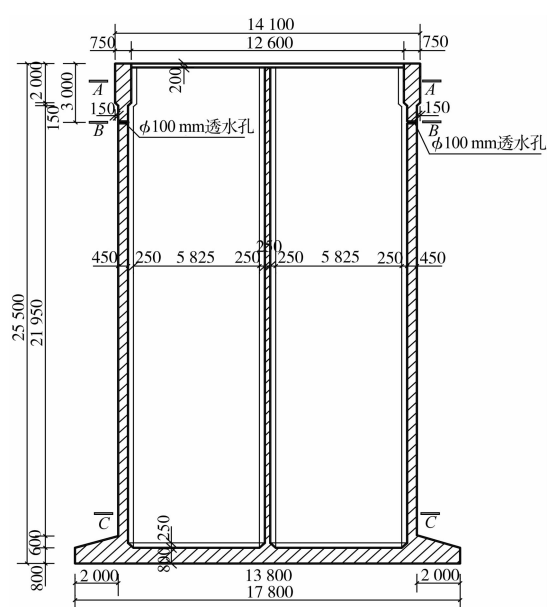
1) 沉箱装驳后，半潜驳排水上浮，采用 1 艘 1 491.4 kW（2 000 hp）拖轮拖运至潜坞坑，沉箱下水区域的水深要求 -18.0 m 以下，水域宽度为 50 m × 80 m。



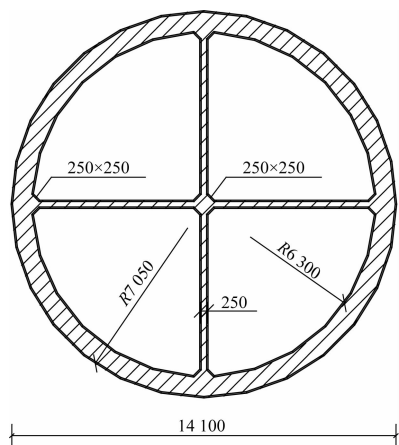
a) 沉箱模板立面图

收稿日期：2015-05-28

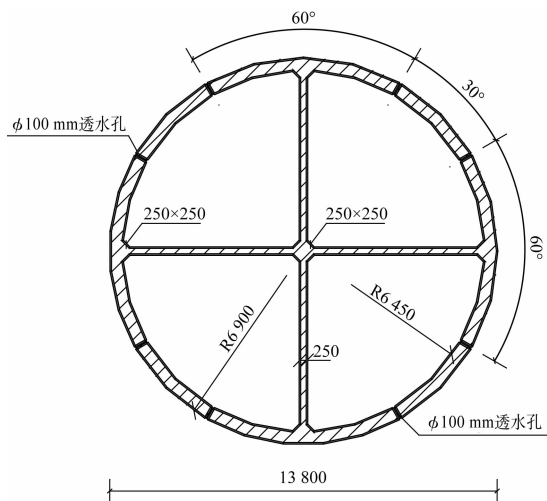
作者简介：张功成（1979—），男，高级工程师，从事港航工程施工技术工作。



b) 沉箱模板断面图



c) A-A



d) B-B

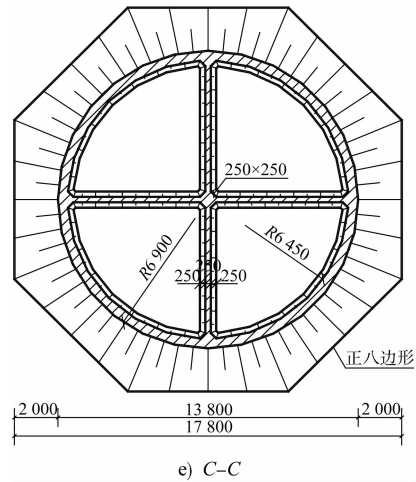


图 1 沉箱结构 (单位: mm)

2) 半潜驳下潜过程中, 锚缆要处于似紧非紧状态, 注意调节各水舱压载水, 使半潜驳一直处于平稳状态, 以保证安全出驳。松开固定沉箱的钢丝绳, 半潜驳船艏加压舱水平稳下沉至半潜驳吃水约 19.0 m 处, 利用 3 000 kN 起重船吊起沉箱与半潜驳脱离。

3) 沉箱浮游稳定性计算^[1]。

本工程沉箱为直径 13.8 m、高 25.5 m 圆筒形沉箱 (底边长 7.37 m, 质量 2 350 t), 现有浮游稳定计算过程如下: 沉箱的浮游稳定性以定倾高度 m 表示, 其定倾半径 ρ 与船舶的初稳定性核算一样, 按小倾角 (倾角小于 15°) 理论进行计算。该水域浪高取 1.5 m, 海水密度取 $1.025\ 26\ \text{t/m}^3$, 中粗砂密度取 $1.8\ \text{t/m}^3$, 钢筋混凝土密度取 $2.5\ \text{t/m}^3$ 。

初步按不压载计算沉箱的浮游稳定性, 经核算在不压载的情况下沉箱浮游时不稳定 (该计算过程略)。计算过程如下:

①沉箱质心高度计算。

$$Y_1 = \sum V_i Y_i / \sum V_i \quad (1)$$

底板 (包括脚趾及底部加强角) 质心高度 0.53 m, 上部结构质心高度 $Y_2 = 13.8\ \text{m}$, 沉箱质心高度 $Y = 10.03\ \text{m}$, 沉箱相同质量海水体积为 $2\ 287.07\ \text{m}^3$, 脚趾体积 $V_{\text{趾}} = 124.01\ \text{m}^3$ 。

②假设灌水深度为 4.0 m, 加水后沉箱质心高度。

加水体积 $V_{加}=457\text{ m}^3$; 沉箱加水后总质量 $G=2\,212.675\text{ t}$; 相同质量海水体积 $V=2\,744.1\text{ m}^3$; 质心高度 $Y=8.8\text{ m}$ 。

沉箱吃水 $h=17.5\text{ m}$; 沉箱底面至浮心的高度约为 8.4 m , 质心至浮心的距离: $a=0.4\text{ m}$ 。

惯性矩 $I_0=\pi r_{外}^4/4=1\,780.27\text{ m}^4$; $\Delta\vartheta=2.22^\circ$, $\vartheta=87.78^\circ$; $I_x=65.13\text{ m}^4$, $I_y=115.27\text{ m}^4$; $\sum i=\frac{I_x+I_y}{2}\cdot n=360.8\text{ m}^4$; 定倾半径: $p=(I-\sum i)/V=0.52\text{ m}$; 定倾高度: $m=p-a=0.12\text{ m}>0$ 。

③以上方案定倾高度满足沉箱出驳要求, 经核算干舷高度亦满足要求 (沉箱内每加 1 m 水, 沉箱质量增加 123 t , 沉箱吃水增加 82 cm)。

4) 出驳方案。

本工程沉箱浮游稳定经计算需加 4 m 水, 沉箱吃水 17.5 m 。但半潜驳现只能下潜至 19.3 m , 沉箱吃水 14.55 m , 为保证沉箱稳定出驳需用 $3\,000\text{ kN}$ 起重船吊起沉箱, 半潜驳移开后立即用水泵向沉箱内加水至 4 m 深, 使沉箱本身达到浮游稳定。现行规范对如何选取吊力 P 和核算沉箱稳定性未作规定, 现按小倾角时稳定理论核算验证, 按以下公式和图示计算所需的吊力 P 和核算沉箱稳定性。

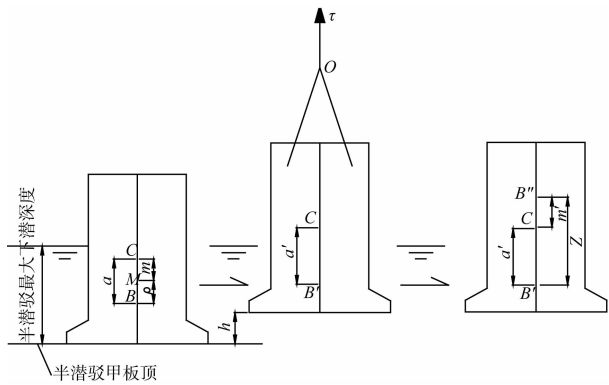


图 2 不稳定沉箱吊移过程

$$Z=\frac{P\cdot\overline{OB'}+I\lambda_w}{P+W}\tag{2}$$

$$m'=Z-a'>0\tag{3}$$

式中: Z 为浮心 B' 至假想浮心 B'' 的距离 (实亦即为定倾半径); P 为所需吊力; W 、 B' 为用吊力

P 将沉箱吊离半潜驳甲板 h 高后的浮力、浮心; $\overline{OB'}$ 为吊力作用点 O 至浮心 B' 的距离; I 为沉箱在水面处的断面对纵向中心轴的惯性矩; λ_w 为海水的密度; m' 为用吊力 P 将沉箱吊离半潜驳甲板 h 高后的定倾高度; a' 为浮心 B' 至质心 C 的距离。

从图 2 和式 (2)、(3) 分析, 只要有足够的吊力 P , 使 Z 值增大至 $Z-a'>0$ (假想浮心 B'' 高于质心 C), 即可使沉箱处于稳定。

式 (2)、(3) 是建立在小倾角时稳定性理论基础上的, 如图 3 所示, 其必备条件是 $\angle aob>30^\circ$, 只要沉箱在外力作用下, 其倾斜角 $\theta\leq 15^\circ$, 则吊索力 $T_2>T_1>0$ (吊索不是通锁), 亦即 $\triangle aob$ 在倾斜前后不改变其形状, 可视为刚体。既然可视为刚体, 根据诸分力和其合力具有等效的原理, 则取沉箱或取沉箱和吊索作隔离体, 在计算结果上应该是一致的。但为计算方便起见, 以上公式是以取沉箱和吊索作为隔离体推导出来的。

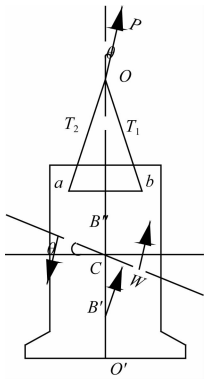


图 3 不稳定沉箱吊移必备条件

为确保沉箱的浮游稳定性, 除进行严格的核算外, 尚须注意以下事项:

- 1) 支模用的对穿螺栓孔需用 1:3 的硬水泥砂浆堵死, 并在表面涂抹环氧水泥砂浆 1~2 遍, 以免漏水。
- 2) 在用起重船吊移不稳定沉箱时, 应选在风、浪、流值都比较小的条件下进行作业。为尽可能减小沉箱所受的动水压力, 并考虑到沉箱和起重船随浪升、沉时有可能因升、沉不同步或升、沉值不相同, 吊力变小 (或变大), 而降低沉箱的稳性, 一方面 m' 宜取较大值 (如 m' 取 0.4 m);

另一方面要缓慢绞锚缆,使起重船徐徐吊移沉箱。沉箱吊移离开半潜驳后,边向沉箱内加水,边下落起重船的吊钩,沉箱徐徐下沉,直至加水量满足浮游稳定要求后,停止加水,起重船吊移沉箱至安装位置,准备安装。

3 沉箱安装

3.1 沉箱安装顺序

沉箱安放顺序与基床抛石、夯实的顺序相同,基床整平一段安装一段,以防回淤。

3.2 沉箱安装方法

第 1 件沉箱要求精度较高,沉箱安装采用 3 000 kN 起重船辅助定位,沉箱灌水下沉落床的施工工艺。

本工程基床顶高程为 -23.2 m,沉箱高度为 25.5 m,安装好后的沉箱顶高程为 2.3 m,根据水位潮汐资料,当地设计高水位为 4.64 m,设计低水位为 0.3 m,选择在低潮位的平流阶段进行安装,减少潮流对沉箱安装施工的影响。

沉箱脱驳离开后,拖轮协助将 3 000 kN 起重船和沉箱一起移至安装现场附近。起重船采取船尾顶风顶浪,船头对准待安装的基床的方向驻位,起重船可抵消一部分风浪对沉箱安装的影响,通过起重船收放锚缆,将起重船和沉箱一起移运至安装现场。由于沉箱自身浮游稳定,起重船只起到保持平衡和定位作用,因此起重船的吊力控制在 2 000 kN 以下。

移运到位后,打开水泵,沉箱灌水缓慢下沉,放松起重船吊索钢丝绳。当沉箱下沉至距基床顶面约 50 cm 时,停止灌水,调整沉箱前后平衡后,精确定位。

采用起重船调节锚缆粗定位,使得沉箱纵向、横向和扭角均大致位于准确位置(偏差在 20 cm 以内),再用钢丝绳将沉箱顶的拉环与起重船的绞车连接,通过 GPS 测量仪指挥收放钢丝绳调整偏差,达到沉箱安装精确定位。

定位完成后继续灌水,沉箱下沉直至座落在基床顶面上,在下沉的过程中,随时检查沉箱的

偏位情况,沉箱座落至基床面时,再检查沉箱的纵、横向和扭角偏差,若不符合设计和规范要求,则关闭灌水水泵,利用起重船吊起沉箱一定高度或打开排水水泵抽水起浮,再次安装直至达到安装精度要求为止。

3.3 沉箱安装要点

1) 利用起重船辅助定位,一方面利用起重船的船体抵挡一部分涌浪的影响,另一方面起重船提供部分吊力保持沉箱平衡,防止失稳。

2) 灌水时注意保持各仓的水位差,以防偏重。安装就位后立即进行检查,如不合格则抽水、起浮,重新安装。检查合格后继续往沉箱内放水,直至内外水头相等,沉箱沉落基床。安装前,检查基床整平面有无扰动或障碍物,沉箱有无粘底等情况。出运前检查混凝土的出运强度,必须达到设计强度的 100%^[2]。

3) 沉箱安装时,采用经纬仪、全站仪或 RTK-GPS 测量定位。

4) 沉箱出运时,需设楞木或楞木上加铺木板,避免沉箱在装驳过程中出现碰坏;沉箱移运过程中,沉箱与起重船接触的部位加垫橡胶轮胎,避免沉箱与起重船碰撞造成损坏。

5) 沉箱安装稳定后即可进行舱内回填,回填后进行上面卸荷板的安装。

6) 为了增加沉箱的抗浪能力,在台风季节施工时应注意及时填箱方块内的填料。

7) 施工过程中注意涨落潮及风浪对安装施工的影响,加强对涨落潮及风浪的观测,积累对施工的影响规律。

8) 根据沉箱结构设计计算要求,本工程沉箱在安装全过程中其箱内外的水位差控制在设计范围内,不得超过,以防水压过大造成沉箱结构的破坏或开裂。

参考文献:

- [1] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].
- [2] JTS 257—2008 水运工程质量检验标准[S].

(本文编辑 武亚庆)