

# “浮箱+沉箱”技术在跨河供水管线砼支墩加固维修施工中的应用

唐 斌

中国石化胜利石油管理局有限公司供水分公司 山东 东营 257000

**摘 要:** 供水主管线跨河过沟通常采用柱式砼支墩支撑。针对河中砼支墩损坏的维修,传统方法需填筑围堰,但在河道过宽或不允许填筑围堰的情况下,施工难度增大。本文结合实际工程案例,介绍了一种围堰替代方法——“浮箱+沉箱”技术,该技术成功克服了上述不利因素。文章详细阐述了该技术的布置使用、安全风险、风险防范措施,并提出了使用建议。

**关键词:** 浮箱;沉箱;围堰替代;浮箱安全

## 引言

DN800河孤线是连接河口城区与孤岛地区供水管网的重要干管,每日工业供水量约1.5万 $\text{m}^3$ 。该管线需跨越98m宽的挑河,采用柱式钢筋砼支墩支撑。受海岸潮汐水位影响,挑河水位常有1.2m左右的涨落变化。2019年,安全巡查发现挑河中的4个支墩在低水位处出现严重损坏,急需维修加固。设计单位提出的加固方案是在损坏的支墩外围再浇筑一圈钢筋砼,但如何实施成为难题。考虑到河道管理部门不同意围堰施工方案,且搭正规浮桥费用过高,各参建方经多次讨论,决定尝试使用“浮箱+沉箱”的施工方案。

## 1 “浮箱+沉箱”的结构布置与施工使用

### 1.1 浮箱构造与制作流程

浮箱的制作采用5毫米厚度的钢板,通过焊接工艺精心打造。为了构建稳固且便于操作的施工平台,我们采用了预置式螺栓卡扣进行浮箱的拼接。该平台的外径为5.2米,内径3米,高度达到1米,由两个尺寸为1米 $\times$ 1.1米 $\times$ 5.2米的浮箱和两个1米 $\times$ 1.1米 $\times$ 3米的浮箱巧妙组合而成。为了便于浮箱内的水分管理,每节浮箱的顶部都设有开孔,以便进水或排水操作。为了保障施工人员的安全,平台四周安装了高度为1米的拼装式钢管护栏。此外,平台上还配备了一个4米高的简易拼装式钢管龙门架,龙门架的横梁上装有两个1吨的手拉倒链,以便进行重物的吊装作业。为了方便小型物件的吊装,平台上还设置了一个自制简易可旋转的小吊机,其起吊能力为500公斤。为了确保平台的稳定性和安全性,在平台外径的四角设置了钢丝绳锚固点,共4处<sup>[1]</sup>。同时,平台上还设有固定的配电箱位置1处和电焊机位置1处,以满足施工过程中的电力需求。为了方便沉箱的固定和支撑,平台

内径的四角还配备了4个DN60撑桩钢套管。

### 1.2 沉箱设计与制作细节

沉箱的制作同样采用5毫米厚的钢板和50角钢,通过焊接工艺制成可拼接式结构。沉箱分为大1号和小2号两种规格。大1号沉箱的单块拼接板尺寸为2.4米 $\times$ 1米和2.4米 $\times$ 0.5米,通过螺栓和止水胶条的紧密配合,可以拼接成底边长为2.4米、高度在1至3米之间不等的长方体沉箱。小2号沉箱则采用1.8米 $\times$ 1米和1.4米 $\times$ 1米的钢板,在现场进行焊接作业,最终制成底边为1.8米 $\times$ 1.4米、高度为1米的长方体沉箱。这种设计不仅便于沉箱的运输和拼接,还能根据实际需求灵活调整沉箱的尺寸和高度,满足不同的施工要求。

### 1.3 “浮箱+沉箱”的施工使用流程

#### 1.3.1 浮箱拼接与组装步骤

首先,利用吊车将四节浮箱安全地放置到河边的水中。接着,将三节浮箱精心拼装成“U”形结构,并使用直径12mm的钢丝绳将浮箱连接起来。使用小船拖曳“U”形浮箱,同时岸上人员辅助拖动钢丝绳,使浮箱平稳地靠近管线砼支墩。当“U”形浮箱移动到预定位置后,上浮箱上下安装四个DN50钢撑桩,以初步固定浮箱的位置。随后,使用小船拖曳并安装第四节浮箱,确保浮箱四角都牢固地链接上钢丝绳,并将钢丝绳的另一头拖拉固定在两边岸上四角的锚固点上。使用小船倒运所需料物,并在浮箱上安装护栏、简易小吊车、简易龙门架,同时吊挂手拉倒链并安装配电箱。借助跨河的DN800供水管线,吊挂并铺设电缆至浮箱配电箱处,为浮箱操作平台提供电力支持。最后,安装一台4寸潜污泵,至此,浮箱操作平台的拼装工作全部完成。

#### 1.3.2 大1号沉箱安装流程

使用小船倒运所需料物，并利用简易小吊车和龙门架上的手拉倒链，围绕砼支墩为中心，将大1号沉箱组装完毕并平稳地放入水中落地。使用人工抡大锤砸击和手持气动锤冲击的方法，均衡地压打沉箱上顶，将大1号沉箱钢板压入水中地下约0.4m左右。砼支墩周边的大1号沉箱形成一个钢制围井。为了延长渗径并提高止水效果，在沉箱最下面一层钢板的迎水面焊接一圈0.5m高的“L”形钢板（图1）。

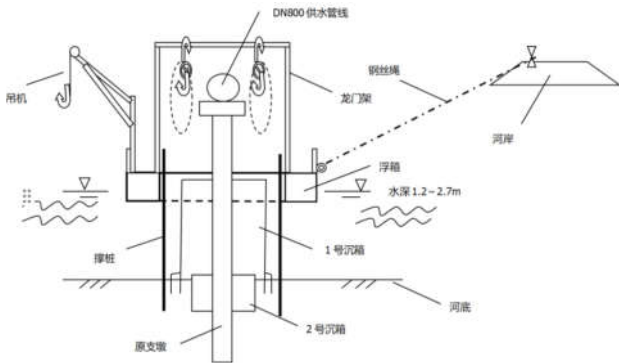


图1 “浮箱+沉箱”布置示意图

### 1.3.3 排空围井积水与后续处理

使用潜水泵将围井内的积水彻底排净，并清理围井内地面约0.2m深的淤泥。仔细观察井内是否有明显渗漏水流，如有发现，在围井外侧抛填塑料布并压盖土袋以止水。

### 1.3.4 小2号沉箱安装与开挖

在现场围绕支墩焊接并组装小2号沉箱，使用人工锤击和手持气动锤冲击的方法，将小2号沉箱钢板完全压入地下。开挖小2号沉箱内的泥土，确保挖深不小于0.7m。

### 1.3.5 支墩砼清理与准备

安装高压清洗水枪，对计划加固范围内的原砼支墩进行彻底冲洗，清除附着的污泥和杂物。将酥松的砼敲除，并将外漏的支墩钢筋进行打磨除锈处理。

### 1.3.6 承台浇筑与钢筋绑扎

将小2号沉箱作为承台模板，精心绑扎承台钢筋和支墩加固竖向主钢筋。使用小船运送搅拌机出的砼，进行承台砼的浇筑工作。

### 1.3.7 支墩加固砼浇筑与养护：

注意事项：以上1.3.3至1.3.6步骤必须当天完成。承台浇筑的第二天，即可开始绑扎承台以上的箍筋。将事先已对半剖开的钢管作为模板进行安装，并进行钢管补焊和焊缝防腐处理。进行支墩加固砼的浇筑工作，注意分层浇筑、振捣密实、不漏振，砼浇筑完后及时进行养护。

### 1.3.8 拆除与搬运“浮箱+沉箱”

支墩加固砼养护1天后，即可开始拆除“浮箱+沉箱”。使用龙门吊和倒链将大1号沉箱提出并分解拆除，同时将浮箱拆除并转运至下一个支墩处进行后续施工。

## 2 “浮箱+沉箱”方案的安全风险识别与风险防控措施

### 2.1 安全风险识别分析

“浮箱+沉箱”施工方案在水上实施，易受风浪影响，存在多重安全风险<sup>[2]</sup>。具体而言，浮箱平台可能因水流、风浪冲击而锚固失稳、飘走，进而撞击拟维修支墩，导致支墩断裂的严重事故；水上作业环境下，人员有淹溺风险；同时，水泵抽水、钢板焊接、砼振捣等作业涉及用电安全；小船倒运钢构件等物料时，易发生人员落水、砸伤、挤伤；岸边与水上平台的吊装作业存在平台倾倒、机具损坏、人员伤害的风险；沉箱内开挖作业则属于受限空间作业，需特别注意。

### 2.2 浮箱平台安全评估与测算

#### 2.2.1 风浪影响评估

河孤DN800线穿越的挑河支墩河段，南北走向，水面与地面高程差约2.5至3.5米。南侧河道延伸3300米，北侧2700米，最大风浪吹程3300米。南风或北风时，风浪可能较大；其他风向时，风浪预计较小。分析了2017年至2019年5至6月风向和风速数据：南风或北风出现34天，占比18.6%，最大风速5级；东南风48天，占比26.2%，最大风速5级；东北风34天，占比18.6%，最大风速6级；西南风36天，占比19.7%，最大风速5级。

采用鹤地水库经验公式计算风浪：

当南风或北风盛行时，取最大风速5级（即 $W = 10.7\text{m/s}$ ）和吹程3300米作为计算参数。根据公式，累计频率2%的浪高 $h_2\%$ 可计算为0.32米（具体计算公式为： $h_2\% = 0.00625W^{(7/6)}D^{(1/3)}g^{(-2/3)}$ ），同时，平均波长 $L$ 波为0.71米（具体计算公式为： $L = 0.0386g^{(-1/2)}D^{(1/2)}$ ）。按照相关规范，可以将这一结果换算为累计频率1%的浪高 $h_1\%$ ，即0.35米（具体换算公式为： $h_1\% = 1.085h_2\%$ ）。

当东北风盛行时，取最大风速6级（即 $W = 13.8\text{m/s}$ ，考虑到实际吹程可能较短，此处保守取 $D = 150\text{米}$ 进行计算）。根据同样的公式，可以计算出累计频率1%的风浪高度 $h_1\%$ 为0.17米。

#### 2.2.2 浮箱平台浮力安全测算：

对浮箱平台的浮力安全性进行分析，首先计算浮箱所能提供的浮力。浮箱的浮力 $F_{\text{浮箱}}$ 由水的密度 $\rho_{\text{水}}$ 和浮箱的体积 $V_{\text{浮箱}}$ 决定，计算公式为 $F_{\text{浮箱}} = \rho_{\text{水}}V_{\text{浮箱}}$ 。代入数值计算得 $F_{\text{浮箱}} = 1000(1.1 \times 5.22 + 1.1 \times 32) =$

18040Kg, 即18.04吨。同时, 计算浮箱的底面积 $S_{浮箱底}$ 为 $5.2 \times 1.12 + 3 \times 1.12 = 18.04m^2$ 。

接着分析操作平台可能出现的最大重力 $W_{合}$ , 包括浮箱自重、大沉箱重量及平台操作人员和设备的重量。计算得 $W_{合}$ 为一定值(具体计算过程略), 约为6.12吨。然后计算在最大重力情况下浮箱的吃水深度。静止水面时, 吃水深度 $h_{吃水1}$ 通过公式 $W_{合}/S_{浮箱底}$ 计算得 $0.34m$ 。一般作业时, 吃水深度 $h_{吃水2}$ 为 $(W_{合}-W_{大沉箱})/S_{浮箱底} = (6.12-1.12)/18.04 = 0.28m$ 。

最后评估浮箱的安全净浮力 $F_{净浮}$ , 即 $F_{浮箱}-W_{合} = 18.04-6.12 = 11.92$ 吨。结果表明浮箱具有足够的安全净浮力, 确保平台安全稳定。

### 2.2.3 风、水流、波浪对浮箱平台作用力的测算:

对于浮箱平台的风阻计算, 考虑到施工时间为5~6月份, 最大风速一般不超过6级。利用风压公式 $WP = V^2/1600$ , 我们得到风压为 $0.12KN/m^2$ 。浮箱平台的迎风面积包括浮箱和平台设施的迎风面积, 总计为一定值。因此, 风对浮箱平台的作用力 $F_{风}$ 为 $0.75KN$ , 即 $76.5Kg$ 。

接下来计算水流对浮箱平台的作用力。这包括水流推动力和水流冲击力。在最不利情况下, 即吊装大1号沉箱且沉箱还未坐底时, 我们分别计算了这两种力。水流推动力 $F_{推}$ 为 $4.2Kg$ , 而水流冲击力 $F_{冲}$ 为 $1149.4Kg$ 。因此, 浮箱平台受到的水流作用力总和为 $1153.6Kg$ 。

对于波浪对浮箱平台的作用力, 我们参考了相关文献中的公式 $F_{浪} = \gamma_{tp} \cdot h_1 \cdot S_{吃水}$ , 并根据给定的参数计算得到 $F_{浪}$ 为 $192.2Kg$ 。

综合以上计算, 风、水流、波浪对浮箱平台的作用力合力为 $1422.3Kg$ 。

### 2.2.4 浮箱平台锚固安全测算

为了评估浮箱平台的锚固安全性, 我们计算了钢丝绳的破断拉力。根据相关标准和公式 $F_{钢索破断} = K' \cdot D^2 R_0 / 1000$ , 我们得到钢丝绳的破断拉力为 $6436Kg$ 。考虑到安全系数, 钢丝绳安全拖拉牵引重量为 $1838Kg$ 。综上由于 $1838Kg$ 大于 $1422.3Kg$ , 因此浮箱平台的锚固是安全的。

## 2.3 安全风险防控措施部署

针对“浮箱+沉箱”施工方案的安全风险, 制定并实施了以下防控措施:

浮箱锚固与天气监测: 浮箱四角及两岸设置四个锚

固点, 使用钢丝绳牵引固定。每日密切关注天气变化, 6级以上风时, 在风向上增设临时锚固牵引钢丝绳<sup>[3]</sup>。现场设置手持式风向风速仪, 每2小时观测1次, 确保及时应对恶劣天气。

材料倒运与作业安全: 使用小船向浮箱倒运材料时, 做好组织、看护工作, 轻拿稳放, 避免堆积过高。注意浮箱上用电安全, 设置防水开关箱、漏电保护开关等防护措施。浮箱吊装作业时, 严格执行安全规程, 确保吊点平衡、稳固及吊架设置高度合适。

人员安全与应急准备: 浮箱平台作业人员不得超过7人, 所有作业人员配置救生衣、救生圈、救生绳等安全装备。指定救生员负责现场安全监护与应急救援工作。沉箱坐底及抽排泥水后, 进行箱底空气检测, 确保安全后方可进入开挖作业<sup>[4]</sup>。设置好上下爬梯和照明灯具, 过程中实时监控箱底安全状态及冒水情况。

## 3 “浮箱+沉箱”方法的工程施工实际效果

该工程于5月5日进场, 5月9日开始东岸1#支墩处施工, 至6月12日4#支墩加固维修完成。总体比较, 第一个支墩维修时间较长, 后续支墩施工速度明显加快。施工过程中, 取得了实际经验, 也遇到了涌水等问题, 并及时采取了应对措施。

### 结语

拼接式“浮箱+沉箱”施工技术在实际工程应用中表现出施工进度快、安全有保障的优点。该技术适用于河道宽浅、水流速度不大、水深2m以内的环境, 可作为围堰施工的有效替代方案。但在水深超过2.5m或风浪过大的环境下, 不建议使用该技术方案。

### 参考文献

- [1] 于洋. 浮箱助浮沉箱出运工艺技术探讨[J]. 珠江水运, 2021, (07): 101-102.
- [2] 张兴旺. 基于沉箱浮游稳定性计算原理的浮码头横稳性计算方法[J]. 水运工程, 2021, (03): 58-63.
- [3] 方权. 建筑工程项目沉箱沉井技术的应用探析[J]. 安徽建筑, 2016, 23(02): 72-73+77.
- [4] 贺子奇, 闫超. 建筑施工阶段沉箱沉井技术的运用及要点探析[C]// 旭日华夏(北京)国际科学技术研究院. 首届国际信息化建设学术研讨会论文集(一). 河南大学土木建筑学院, 2016: 2.