

# 一种新型深基坑围堰形式

## ——锁扣钢管桩围堰

文 / 黄令东 中国铁建港航局集团有限公司

**摘要:** 小清河复航工程引黄济青倒虹位于 187+340 处 (航道桩号 156+540), 倒虹涵洞采用钢筋混凝土结构, 强度等级 C35, 抗冻等级 F150, 抗渗等级 W4, 采用抗硫酸盐水泥。倒虹涵洞长 247m, 断面尺寸为 4.0m×3.5m (宽×高), 3 孔。受两侧相接的输水暗涵已施工影响, 施工现场场地狭窄, 但开挖基坑较深限制, 为达到现场干施工条件, 需采用新型深基坑围堰结构形式——锁扣钢管桩围堰。

**关键词:** 深基坑; 热轧锁扣钢管桩; 钢管桩围堰

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.073

### 引言

本文结合小清河复航工程引黄济青倒虹工程实例, 从技术角度对深基坑锁扣钢管桩施工工艺进行介绍, 以期类似工程设计提供参考和借鉴。

### 一、项目背景

小清河复航工程新建引黄济青倒虹工程位于现有引黄济青倒虹上游 50m 处, 倒虹上游端与小清河防洪综合治理工程王道泵站输水暗涵连接, 倒虹下游端接王道泵站前池。该倒虹工程为小清河复航工程中所有倒虹工程中开挖深度最深, 施工难度最大的饮水倒虹工程, 倒虹涵洞采用钢筋混凝土结构。河道内水平段涵洞, 结构物顶标高为 -6.70m, 结构物底标高为 -11.70m, 标准节长度为 15m, 共划分为 19 节 (包含河道水平段和两岸连接段)。此部位河床现状为疏浚后的河道, 河道底标高为 -4.70m。引黄济青倒虹, 要求在一个非汛期内完成新建施工, 采用分期围堰导流方式, 确保非汛期小清河正常流水。按照施工惯例, 通常考虑围堰形式为土围堰或充填沙袋围堰, 但因施工场地两侧大堤外侧输水暗涵结构物均已施工完成, 现场已无导流区域。经现场考察和多次专家论证讨论施工方案, 最终确定了一种新型围堰结构形式——锁扣钢管桩围堰。

### 二、本工程深基坑防护形式

为保证深基坑开挖的安全稳定, 河道内的基坑开挖, 采用锁扣钢管桩围堰的方式进行深基坑作业防护。锁扣钢管桩围堰采用  $\Phi 630$  的钢管加焊锁扣连接的方式, 锁扣钢管桩长 22.5m, 顶标高 +2.5m, 底标高 -20m, 比河道内基坑开挖底标高低 8.3m, 确保止水效果良好, 围堰内部采用双层内支撑支护, 保证结构形式稳定。

### 三、施工要求

技术先进, 结构简单, 受力均匀可靠, 保证基坑围

护体系能够起到挡土止水作用, 使基坑四周边坡保持稳定。在基坑土方开挖及倒虹结构施工期间, 不因基坑周围土体的变形、沉陷、坍塌及位移而发生安全事故, 既经济合理又能保证施工人员和设备安全。深基坑支护的危险时段为雨季, 钢管桩平面位移的观测尤为重要。

### 四、锁扣钢管桩围堰计算

根据现场土质情况及地质报告资料, 本次施工倒虹吸井深基坑从上向下主要土层依次为: 淤泥质粉、粉土、粉质粘土, 根据土层情况取土层内摩擦角为  $\phi=10.4^\circ$ , 容重为  $\gamma=18.86\text{KN/m}^3$ , 黏聚力  $c=20.70\text{kPa}$ 。

则主动土压力系数:  $K_a = \text{tg}^2(45 - \phi/2) = 0.69$

被动土压力系数:  $K_p = \text{tg}^2(45 + \phi/2) = 1.44$

假设反弯点距坑底的距离为  $y$

主动土压:

$$P_a = (\gamma - 10) \times (7.5 + y) \times K_a - 2c\sqrt{K_a} = 6.11y + 11.46$$

被动土压强:

$$P_p = (\gamma - 10) \times y \times K_p + 2c\sqrt{K_p} = 12.76y + 49.68$$

水压强:  $P_w = \gamma_w \times 7.2 = 72$

由  $P_a + P_w = P_p$ , 解得  $y=5.08\text{m}$ 。

#### (一) 中间围檩设置

共设置 2 层围檩, 一层封底混凝土。围檩距钢管桩顶端的距离分别为 2.5m, 8.5m。底部浇筑 1m 封底混凝土。

#### (二) 钢管桩内力计算

按等值梁法计算钢管桩内力, 钢管桩计算宽度取 0.63m。

基坑底部土压:

$$P_a = (\gamma_w \times 7.2 + (\gamma_y K_a - 2c\sqrt{K_a})) \times 0.63 = 85.18\text{kN/m}$$

由计算结果知, 钢管桩最大应力为 58.9Mpa < 205Mpa, 钢管桩强度满足要求。

(三) 反弯点下的有效嵌固深度计算

反弯点下的有效嵌固深度

$$t = \sqrt{\frac{6 \times 15.8}{\gamma \times (K_p - K_a)}} = \sqrt{\frac{6 \times 15.8}{18.86 \times (1.44 - 0.69)}} = 2.6m$$

则钢管桩最小长度  $L=2.5+12.2+5.08+2.6=22.38m$ 。

五、钢管桩稳定性验算

(一) 管涌验算

管涌的原因主要受水的作用影响，计算时取桩顶标高并考虑有水一侧，基坑抽水后水头差为  $h_1=14.7m$ ，入土深度  $h_2=x$ ，最短的渗流途径为  $h_1+h_2 \times 2$ ，不产生管涌的安全条件，根据《简明施工计算手册》中国建筑工业出版社，P284 页 (5-107) 公式得：

$$K \times i \times r_w \leq r_b$$

式中  $K$  为安全系数取 1.7；

水容重取  $r_w = 10KN/m^3$ ；

土的浮容重为：

$$r_b = 18.86 - 10 = 8.86KN/m^3；$$

$$水力梯度 i = h_1 \div (h_1 + 2x)；$$

计算得  $x \geq 6.0m$  时，不会发生管涌。

根据第 3.4 节可知：桩长为 22.38m，选用 22.5m 钢管桩，则入土深度为 7.8m，反算抗管涌安全系数  $K = 1.82$ ，不会发生管涌。

(二) 基坑底部隆起验算

基底抗隆起稳定性分析采用  $C$ ， $q = 10KN/m$  抗隆起验算方法

根据《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012：

$$x = 7.8m、H = 14.7m、q = 10KN/m^2、\phi = 10.4^\circ、C = 20.7KPa、安全系数 K = 1.6$$

$$N_q = e^{\pi tg\phi} tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) = 2.56$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{tg\phi} = 8.50$$

$$K_s = \frac{r_2 x N_q + c N_c}{r_1 (H + x) + q} = \frac{18.86 \times 7.8 \times 2.56 + 20.7 \times 8.50}{8.86 \times (14.7 + 7.8) + 10}$$

$$= 2.64 > 1.6$$

即钢管桩打入深度 7.8m，地基土稳定，不会发生隆起。

(三) 钢管桩桩长确定

根据计算钢管桩的反弯点、有效嵌固深度、抗管涌及抗隆起验算，取其中的最大值，桩长取 22.5m，其中入土深度为 7.8m。

六、强度验算

(一) 施工工况分析

钢管桩及内支撑计算按照钢管桩围堰施工过程分为以下工况：

工况一：抽水至 0m，安装第一道围檩支撑前。此时施工现场可用于初步检验锁扣钢管桩打设完成后锁扣的止水效果，经现场实际观测后漏水现场不明显，可进行下一工况；

工况二：第一道围檩及对顶支撑安装完成后，抽水至原泥面 -4.7m，由长臂挖机开挖至 -6.0m，安装第二道围檩前。第一层围檩及对顶钢管支撑安装完成后才能继续抽水，否则内外水位差较大，将对整个围堰的稳定性产生威胁，抽水至 -4.7m 后应静置一段时间，在此期间观测围堰内水位上升情况，同时可观察围堰内是否存在锁扣漏水，并根据漏水情况进行封堵；

工况三：第二道围檩及对顶支撑安装完成后，开挖至 -12.2m，浇筑封底混凝土前。第二道围檩及支撑安装完成后，进行土方开挖至 -12.2m；

工况四：浇筑厚度为 1m 的封底混凝土。基槽开挖完成后，应立即进行混凝土封底，防止出现大型管涌危害施工人员安全，混凝土封底时，应时刻注意混凝土与钢管桩之间缝隙须填充并振捣密实，防止后期结构物施工时出现底部隆起等危险现象。

经过对比分析，钢围堰支撑在工况三处于最不利情况，以下按工况三对钢管桩支护系统各构件受力情况进行分析。

(二) 工况三受力分析

根据钢管桩系统在工况三时的受力情况，剪力  $maidas$  模型如下图所示。

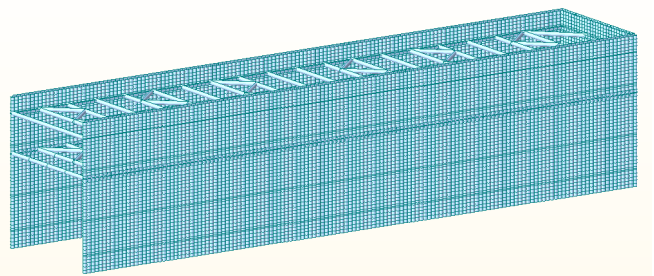


图 1 基坑支撑模型整体图

1. 组合应力分析

(1) 基坑钢管桩组合应力等值线图如下图所示。

模型计算结果：钢管桩最大组合应力为 92.2Mpa  $< [\sigma_w]=205Mpa$ ，满足规范要求。

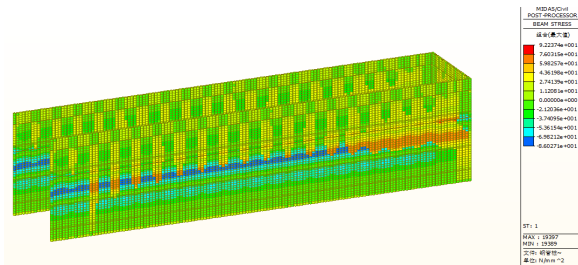


图2 钢管桩组合应力图 (Mpa)

(2) 基坑支撑钢围檩组合应力等值线图如下图所示。  
模型计算结果：钢围檩最大组合应力为 197.8Mpa <  $[\sigma_w]=205\text{Mpa}$ ，满足规范要求。

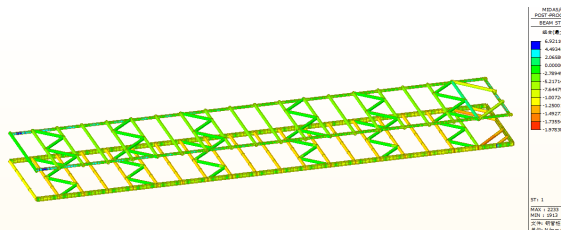


图3 钢围檩组合应力图 (Mpa)

### 2. 剪应力分析

(1) 基坑支撑钢管桩剪应力等值线图如下图所示。  
模型计算结果：钢管桩最大剪应力为 29.3Mpa <  $[\tau]=120\text{Mpa}$ ，满足规范要求。

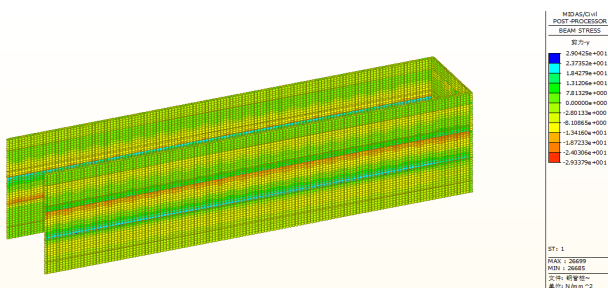


图4 钢管桩剪应力图 (Mpa)

(2) 基坑支撑钢围檩剪应力等值线图如下图所示。  
模型计算结果：钢围檩最大剪应力为 4.4Mpa <  $[\tau]=120\text{Mpa}$ ，满足规范要求。

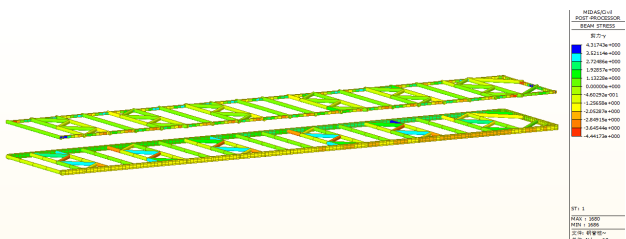


图5 钢围檩剪应力图 (Mpa)

### 3. 轴向应力分析

基坑支撑钢围檩轴向应力等值线图如下图所示。  
模型计算结果：钢围檩最大轴向应力为 135.1Mpa <  $[\sigma_w]=205\text{Mpa}$ ，满足规范要求。

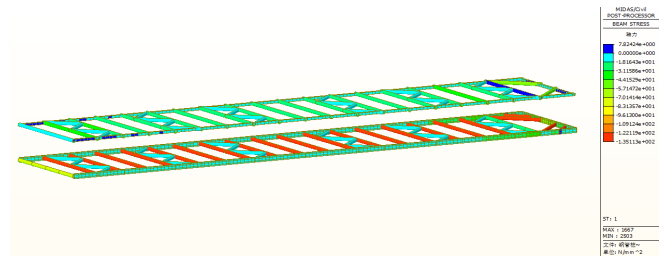


图6 钢围堰围檩轴向应力图 (Mpa)

### 4. 钢管桩变形

基坑钢围堰位移等值线图如下图所示。  
模型计算结果：钢围堰水平最大位移为 12.9mm，满足施工需求。

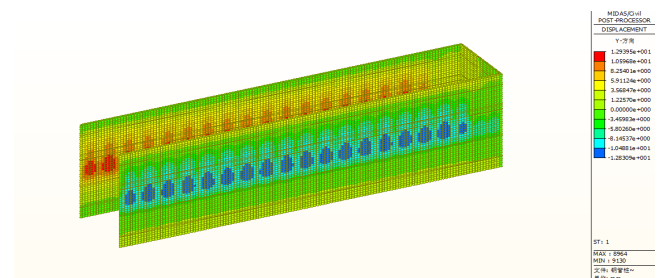


图7 钢围堰水平位移图 (mm)

### (三) 计算结论

经上述计算分析，基坑支撑各部件强度及刚度在其施工过程中均满足规范要求。

### 结语

本围堰结构施工完成后，为主体结构施工提供了有效的干地施工条件，满足整个工程的安全、可靠性要求。

后续类似工程进行借鉴时，应注意钢管桩围堰锁扣长度及打设设备，该问题一定程度上会影响钢管桩围堰止水效果及施工速度。本项目完成后经过多次风暴潮袭击，围堰结构稳定，沉降数据正常，防风浪效果明显。本项施工技术可推广用于导流面较窄的深基坑、施工作业面狭小的深基坑结构工程。

### 参考文献

[1] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程围堰设计规范 (SL 654-2013). 北京: 中国水利水电出版社, 2013 (12): 11-15.  
[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计规范 (GB 50017-2017). 中国建筑工业出版社, 2017: 18-42.  
[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基坑支护技术规程第4部分支挡式结构. 中国建筑工业出版社, 2012: 23-35.

作者简介：黄令东(1991年一)，男，汉族，山东汶上，本科，工程师，研究方向：施工现场技术、质量管理。