

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.027

# 深埋式承台钢板桩围堰设计与施工关键技术

王德怀

(中交第二航务工程局有限公司,湖北 武汉 430040)

**摘要:** 济南凤凰路黄河大桥跨黄河主桥为三塔(钢塔)自锚式悬索桥,跨径组合为(70+168+2×428+168+70) m,中塔位于黄河中心位置,承台埋入河床较深,采用拉森 IVw 钢板桩围堰施工承台,围堰最大平面尺寸为 37.1 m×27.1 m,桩长 21 m,共设置 3 道横向围图。采用 Midas 有限元分析软件,根据施工工序同时考虑内外水压力、土压力及水流作用,选取了 4 个荷载工况计算钢板桩及围图变形及应力情况。计算结果表明符合规范要求。设置具有一定刚度的、坚固的定位导向架系统实施钢板桩的插打,基坑按“先安装支撑后开挖,分层支撑分层开挖”的原则开挖,开挖过程中利用传感器对围堰进行实时监测,实现深埋式承台钢板桩安全快速施工。

**关键词:** 深埋式承台; 钢板桩围堰; 围图; 监测

## 1 工程概况

济南凤凰路黄河大桥跨黄河主桥为三塔(钢塔)自锚式悬索桥,跨径组合为(70+168+2×428+168+70) m,共设 3 座主塔,2 座边塔和 1 座中塔,其中中塔

承台(图 1)位于水中,平面尺寸为 33.2 m×23.2 m,承台高 5 m,承台位置处泥面平均标高为+22.18 m,根据河道管理部门要求,承台顶面需埋入河床以下不小于 3 m,承台顶标高为+19.080 m,承台底标高为+14.080 m。承台下设 35 根钻孔灌注桩,钻孔桩直径 2.0 m,桩长 100 m。

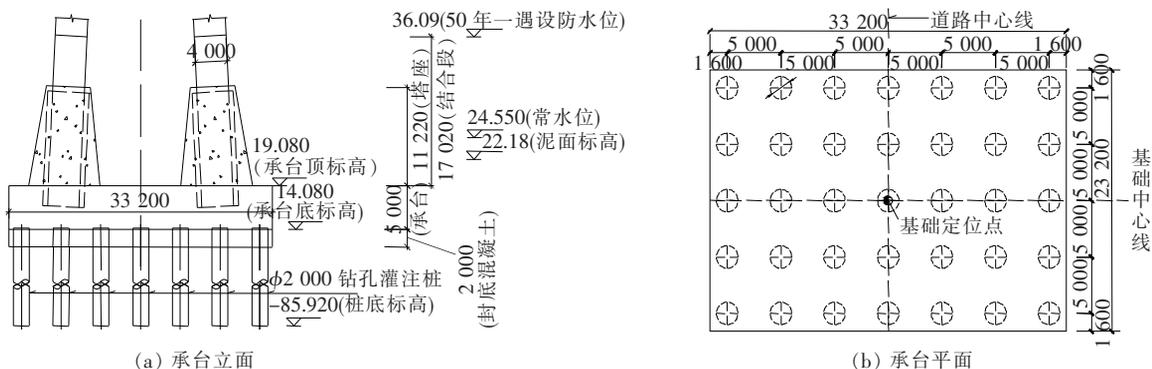


图 1 中塔承台布置图(除标高单位为 m 外,其余:mm)

工程区所处的黄河段整体呈东西向,弯道较多,黄河历来有桃、伏、秋、凌四汛,桃汛较小,伏汛、秋汛最大,暴雨洪水多集中在每年 7—10 月,枯水流量多在 12 月至次年 2 月间,施工常水位为+24.55 m。通过勘探揭露,在勘探深度范围内的地层上部为第四系全新统冲积物和冲洪积物,地质时代新,胶结程度低,均一性较差。钢板桩围堰范围内主要为粉质黏土、粉土,局部含粉砂,地质条件不良。

## 2 钢板桩围堰设计

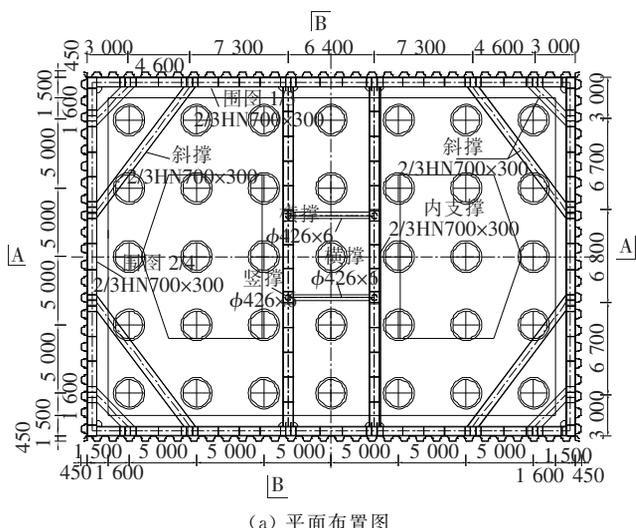
### 2.1 围堰基本构造

中塔承台钢板桩围堰采用拉森 SP-IVw 钢板桩,长 21 m。采用 3 层围图,围图高程分别为+24.200、+20.200、+17.000 m,第一层围图截面形式为 2HN700×300,2、3 层围图截面形式为 3HN700×

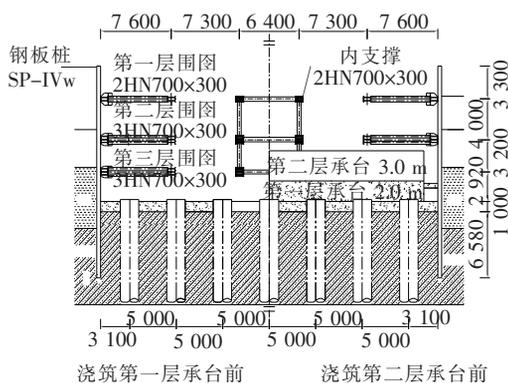
收稿日期:2021-03-10(修改稿)

作者简介:王德怀,男,大学本科,高级工程师。E-mail:743837016@qq.com

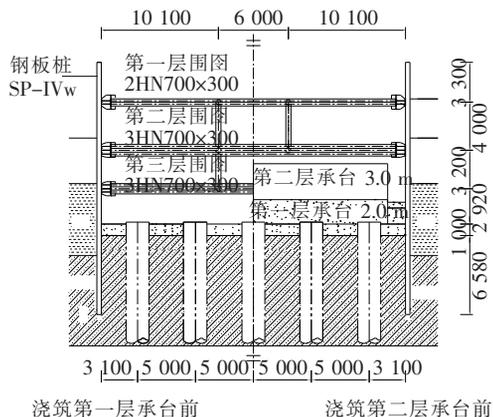
300。对撑及斜撑采用与本层围图同型号型钢,对撑间水平及竖向杆件采用 $\phi 426\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ 钢管,钢护筒直径2.3 m,封底/垫层混凝土厚度为2.0 m。钢板桩以及第2、3层围图及型钢内支撑均采用Q345-B钢材,其余构件采用Q235-B钢材。钢板桩结构、支撑体系构造及位置见图2。



(a) 平面布置图



(b) A-A



(c) B-B

图2 钢板桩围堰平面、立面布置图(单位:mm)

## 2.2 计算荷载工况

根据设计图纸中的结构布置及施工工序,采用

Midas 有限元软件建立模型,钢板桩、围图、支撑采用梁单元模拟,钢板桩底部仅约束竖向位移,被动土压力采用只受压土弹簧模拟,围图与钢板桩之间采用只受压弹簧模拟,支撑与围图间共节点处理,在牛腿处约束竖向位移模拟其对围图的支撑作用,考虑内外水压力、土压力及水流作用力计算4个最不利荷载工况。

工况1:安装第一层水平支撑体系,带水开挖至基坑底工况,围堰外产生的土压力为主动土压力,围堰内为被动土压力[图3(a)]。

工况2:安装第二层水平支撑体系前,抽水至第二层水平支撑体系下1 m(+19.20 m),准备安装第二层水平支撑[图3(b)]。

工况3:安装第三层水平支撑体系前,抽水至第三层水平支撑体系下1 m(+16.00 m),准备安装第三层水平支撑[图3(c)]。

工况4:抽水至基坑底工况,安装好第三层水平支撑后,围堰内抽水至基坑底,准备浇筑第一层承台[图3(d)]。

弹簧支撑按照自上而下K1~Kn进行编号,等效弹簧换算模拟刚度如表1所示。

考虑两种荷载组合形式:标准组合和基本组合。标准组合= $\Sigma$ 恒载+ $\Sigma$ 活载;基本组合= $1.2\Sigma$ 恒载+ $1.4\Sigma$ 活载。

## 2.3 主要计算结果

根据计算分析,最不利工况下钢板桩最大应力 $\sigma_{\max} = 260\text{ MPa} < 290\text{ MPa}$ ,变形 $\delta_{\max} = 61\text{ mm} < \min(h/100, 100) = 100\text{ mm}$ ;围图最大应力 $\sigma_{\max} = 274\text{ MPa} < 290\text{ MPa}$ , $\tau_{\max} = 96\text{ MPa} < 290\text{ MPa}$ ;内支撑强度 $\sigma_{\max} = 207\text{ MPa} < 290\text{ MPa}$ ,应力情况见图4。由计算结果可知,钢板桩围堰各构件的强度和刚度均满足规范要求。

封底混凝土分为施工高水位抽水工况及低水位浇筑承台工况,计算得到封底混凝土最大拉应力为 $\sigma_1 = 0.96\text{ MPa} < f_t = 1.43\text{ MPa}$ ,最大压应力 $\sigma_3 = 1.09\text{ MPa} < f_c = 14.3\text{ MPa}$ ,均能满足规范要求。

## 2.4 内支撑稳定性计算

依据GB 50017—2017《钢结构设计标准》,计算内支撑在基本荷载组合作用下平面内外的稳定性。

平面内稳定性公式:

$$\frac{N}{\varphi_x A f} + \frac{\beta_{mx} M}{\gamma_x W_x (1 - 0.8N/N'_{EX})} < 1 \quad (1)$$

平面外稳定性公式:

$$\frac{N}{\varphi_y A f} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_{1x} f} < 1 \quad (2)$$

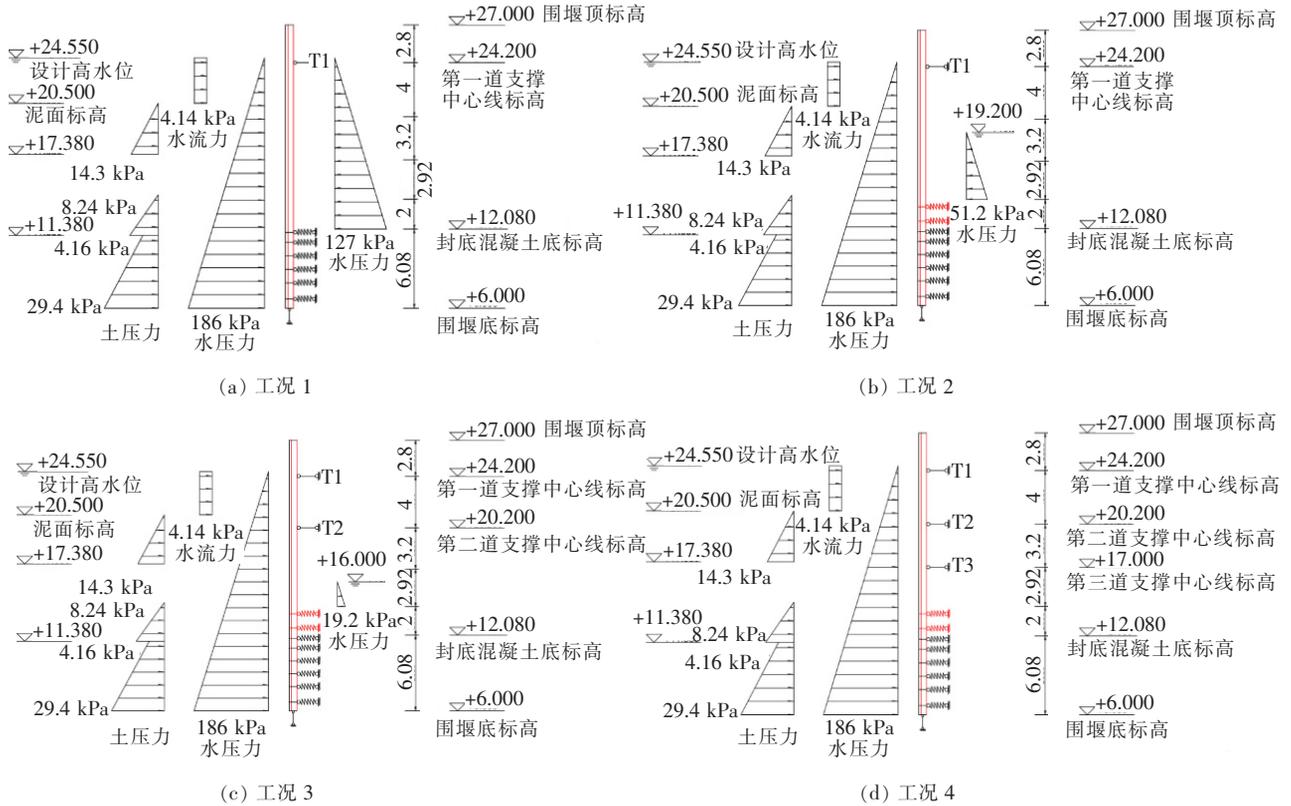


图 3 4 种荷载工况(标高、尺寸单位:m)

表 1 等效弹簧换算刚度

工况	等效弹簧换算刚度/(kN·m <sup>-1</sup> )							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
工况 1	1 374	7 946	15 892	23 839	31 745	56 912		
工况 2、3、4	12 100	36 300	13 468	25 428	33 374	41 320	49 266	81 037

计算结果见表 2。

计算得到内支撑稳定性  $\sigma/f < 1$ ，能够满足规范要求。

### 3 钢板桩围堰施工

#### 3.1 总体施工流程

钢板桩插打完成后采用长臂挖机配合吸泥机进行基坑开挖取土施工,边开挖边安装至第三道围图及内

支撑,基坑开挖过程中随时对基坑进行监测。第三道围图及内支撑安装完成后,继续开挖至基坑底部标高后浇筑 2.0 m 厚封底混凝土(干封底);若继续开挖过程中发现异常(监测指标超标),立即向基坑内回灌水至标高+23.000 m,带水开挖至基坑底部,浇筑 2.0 m 厚水下封底混凝土(水下封底),待封底混凝土达到设计强度后围堰内抽干水,最后进行后续桩头处理和承台施工,总体施工工艺见图 5。

表 2 内支撑稳定性验算

支撑类型	轴力/ kN	平面内弯矩/ (kN·m)	平面外弯矩/ (kN·m)	平面内稳定性 $\sigma/f$	平面外稳定性 $\sigma/f$
$\phi 720 \times 10$	1 148	55	95	0.34	0.32
2HN800×300	1 128	724	383	0.37	0.51
3HN800×300	5 956	1191	238	0.75	0.50

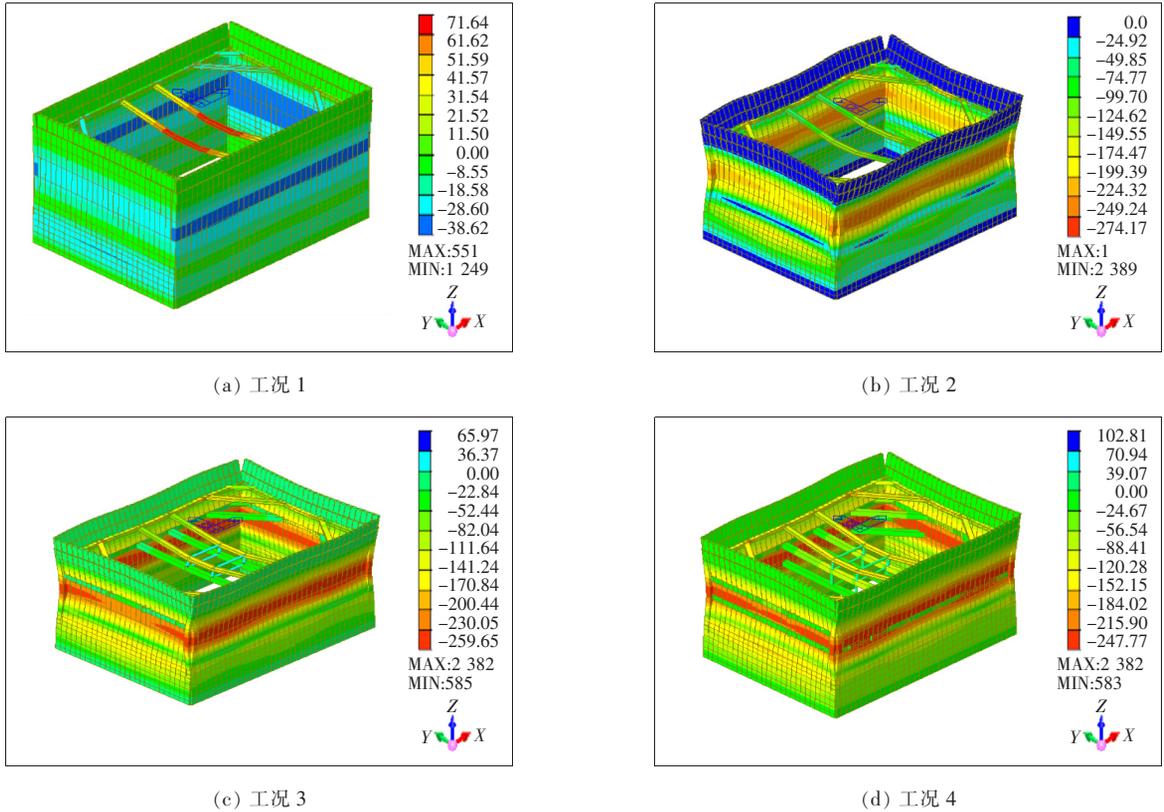


图4 4种工况围堰应力图(单位:MPa)

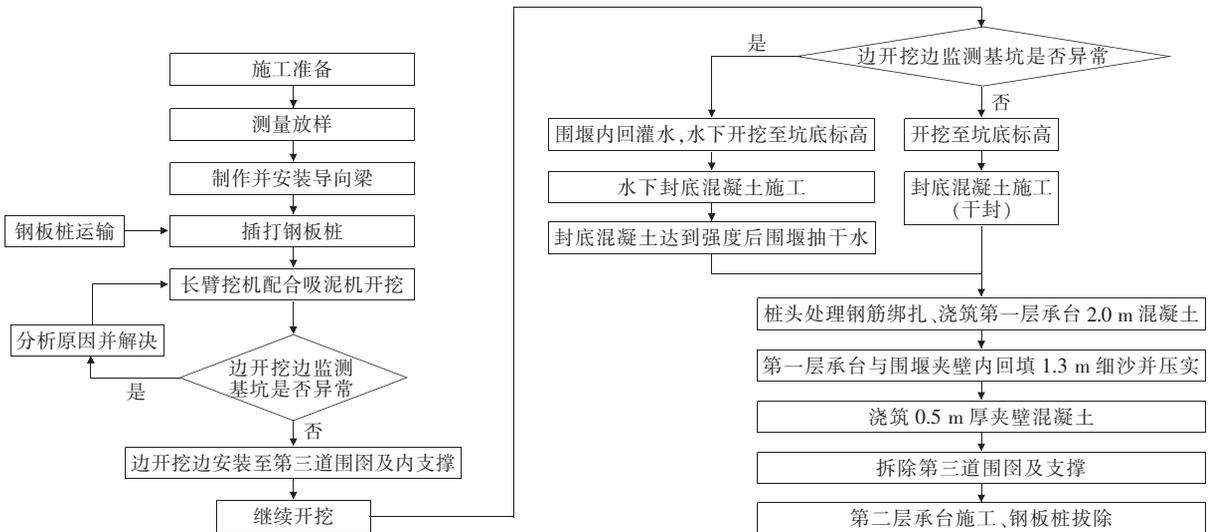


图5 总体施工工艺流程图

### 3.2 钢板桩插打

目前市场上成品拉森 SP-IVw 钢板桩长 18 m, 该工程钢板桩设计桩长 21 m, 需采用同类型、同等强度钢板桩焊接接长, 焊接时先进行对焊再贴板补强。

在钢板桩施工中, 为保证沉桩轴线位置的正确和桩的竖直, 控制桩的打入精度, 防止板桩的屈曲变形和提高桩的贯入能力, 设置具有一定刚度的、坚固的定位

导向架系统, 其主要由定位桩和导向梁组成, 定位桩可利用钻孔桩施工平台四周的钢管桩及最外侧的钢护筒, 在护筒和钢管桩之间采用型钢搭设定位导向梁的支撑梁。

### 3.3 基坑开挖与围圈及内支撑安装

围堰围圈及内支撑的安装施工与围堰内泥面的下降按“先安装支撑后开挖, 分层支撑分层开挖”的原则

进行,当开挖至围图安装高度以下 1 m 时,开始安装围堰围图及内支撑。围图桁架安装利用 80 t 龙门吊和 250 t·m 塔吊起吊吊装,根据龙门吊和塔吊起重能力桁架在后场分片、分段加工后运达现场,龙门吊/塔吊吊装到位后原位拼装成为整体。

### 3.4 封底混凝土施工

基坑开挖过程中采用应力、应变计随时对基坑进行监测,第三道围图及内支撑安装完成并继续开挖,施工过程中监测指标未超标,坑底渗水量小,继续开挖直至基坑底部,开挖完成后进行封底混凝土浇筑。

### 3.5 承台施工和围图及内支撑体系转换

承台分两层浇筑(2 m+3 m),钢板桩围堰第三层围图及内支撑底面标高位于第一层承台顶面标高以上,不影响第一层承台施工。待已浇筑的第一层混凝土达到设计强度后,将第一层承台与钢板桩之间的空隙回填 1.3 m 细砂并压实,并在细砂顶部浇筑 0.5 m 夹壁混凝土。待夹壁混凝土达到设计强度后,拆除第三层围图及支撑,通过夹壁混凝土将钢板桩侧压力传递至第一层承台,完成受力体系转换,继续进行后续第二层承台施工。

### 3.6 钢板桩围堰施工监测

基坑开挖时伴随着土方的大量卸载,水土压力重新分布,原有的平衡体系被打破,钢板桩作为维持新平衡体系的重要承载体,承受水土压力而产生变形,在桩顶位置产生水平位移和沉降,内支撑承受较大轴力,为反映施工期间支护体系变形情况,对钢板桩顶位移及内支撑轴力进行监测。钢板桩竖向每隔 2 m 布置 14 个位移测点,在受力较大的内支撑每层安装 6 个振弦式应变计,对钢板桩进行监测,测点布置位置见图 6,标准荷载组合下的理论值与实际监测值见表 3。

由表 3 可以看出:钢板桩围堰变形及应力的理论值与实测值相比偏大。理论值偏大的原因在于模型中考虑的设计高水位为 +24.55 m,实际施工中最大水位仅为 +22.10 m;另外主动土压力与被动土压力的计算假定为均质土体,实际土质情况与模拟存在误差。最终实测钢板桩围堰顶最大变形  $49.1 \text{ mm} < \min(h/100, 100) = 100 \text{ mm}$ ,内支撑最大应力  $165.7 \text{ MPa} < 290 \text{ MPa}$ ,均满足规范要求。

## 4 结语

济南凤凰路黄河大桥主桥为三塔自锚式悬索桥,

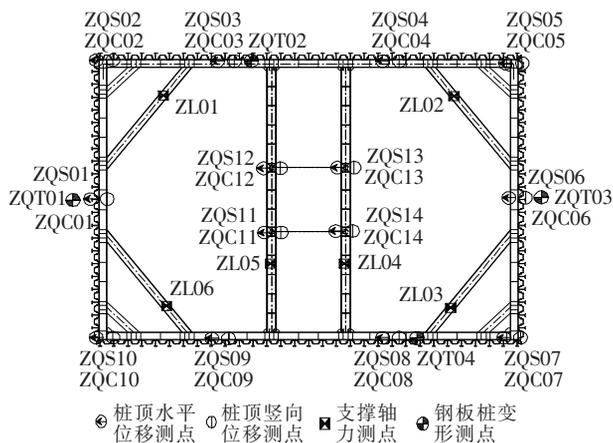


图 6 监测测点

表 3 钢板桩围堰实测值与理论值比较

工况	钢板桩顶最大变形值/mm		内支撑最大应力值/MPa	
	理论值	实测值	理论值	实测值
1	32.2	21.5	71.6	52.1
2	46.3	43.2	130.5	101.4
3	48.2	45.1	165.7	123.8
4	49.1	46.4	143.2	97.5

中塔基础位于黄河中心位置,承台埋入河床较深,桥址地质条件不良,该文通过对深埋式承台钢板桩围堰设计与施工进行研究,选用拉森 SP-IV<sub>w</sub> 钢板桩,设置 3 层围图及内支撑,按“先安装支撑后开挖,分层支撑分层开挖”的原则进行施工,施工过程中对结构变形和应力进行监测,实时预警,确保深埋式承台钢板桩围堰的顺利实施,可为类似工程提供施工参考。

### 参考文献:

- [1] 张荣光,孟详光,李明国. 顺德支流特大桥深埋式承台钢板桩围堰设计与施工[J]. 广东公路交通, 2010(2).
- [2] 周新亚,刘昌箭,钱有伟. 深水基础超长钢板桩围堰设计与施工关键技术[J]. 世界桥梁, 2020(2).
- [3] 夏颂军. 深厚软弱地质条件下钢板桩围堰设计[J]. 世界桥梁, 2016(6).
- [4] JTG/T F50—2011 公路桥涵施工技术规范[S].
- [5] GB 50017—2017 钢结构设计标准[S].
- [6] 胡风明,蔺鑫磊,李响,等. 乐清湾滩涂区淤泥地质埋置式承台钢套箱施工技术[J]. 公路, 2016(8).
- [7] 王会永. 双壁钢板桩围堰施工技术与工程运用[J]. 中外公路, 2019(1).
- [8] 赫宏伟. 黄河机场特大桥基础钢板桩围堰水下封底混凝土设计及施工[J]. 中外公路, 2019(1).