

# 流塑状淤泥深覆盖层海域低桩承台 无底套箱钢围堰施工技术

邓平秀

中交一公局厦门工程有限公司

**摘要:**结合宁德至上饶国家高速公路福建霞浦至福安段A5项目浒屿特大桥梁施工条件,根据现场地质条件、水文、潮汐、风浪等自然因素对3种可行的承台施工方案进行比选,通过经济性、安全、工期、技术难度等方面综合考虑选择最优施工方案,为类似工程提供借鉴参考。

**关键词:**无底;套箱钢围堰;深淤泥;高潮差;承载力低;流塑性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.14.051

## 一、工程概况

浒屿特大桥梁位于东南沿海宁德市三都澳景区。桥址海域内年平均高潮水位3.15m,年平均低潮水位-2.33m,平均涨潮历时和落潮历时分别为6时38分和5时46分。覆盖层均为流塑状滑腻性淤泥,淤泥厚度为15~24m。

浒屿特大桥梁全长1998m,左桥桥孔为左桥 $32\times 40+(42.5+2\times 70+42.5)+(3\times 40)+(2\times 40+35)+(35+40+35)+3\times 40$ 米、右桥 $32\times 40+(42.5+2\times 70+42.5)+(3\times 40)+(2\times 40+35)+(35+40+35)+4\times 40$ 米PC连续/刚构T梁。下部结构9#~31#号墩及37#~45#号墩单幅下面设置4根桩基,承台尺寸 $8\times 6.6\times 2.5$ m,海床面标高为+0.3~+3.45m,承台底标高位于海床面以下0.5~2.2m。

## 二、方案分析及比选

### (一) 施工难点

(1)地质条件复杂,海床面以下15~24m厚均为流塑状滑腻性淤泥,淤泥承载能力极低,承台封底混凝土浇筑难度高。承台内部淤泥挖除后围堰结构承载侧向压力,嵌固段围护结构位移大。

(2)该海域内一日两次涨落潮,年平均潮差5.48m,潮差大和潮差周期导致涨落潮过程中潮流流速大,淤泥能随潮流流动;淤泥含水率高,无潮水时也能流动;承台围堰施工的有效时间短。

(3)三都澳景区位于风口处,起风无征兆性且突然,风速大严重影响吊装作业。

### (二) 其他方案选择

#### (1) 拟选方案1: 钢板桩围堰

钢板桩围堰为常用的承台施工方案,钢板桩外形不平整,不能作为承台模板,钢板桩施打面积远大于承台面积,增加了封底混凝土量,承台浇筑时需要额外投入模板。围堰针对本项目淤泥覆盖层厚,且淤泥呈现为流塑状、承载力和抗侧向压力极低的特点。根据淤泥力学性质进行Midas建模计算,淤泥开挖最深的墩位处,钢板桩需要嵌固15m,需要设置两道内支撑,随着工序进展需要中途拆除。增大了钢板桩的使用量,同时增加了施工难度。

#### (2) 拟选方案2: 有底钢吊箱钢围堰

有底钢吊箱围堰安装及下放不受潮汐影响,吊箱的底板系统能隔绝淤泥,吊挂系统承载封底混凝土自重,封底混凝土质量有保障。承台底标高位于海床面以下时,吊箱下放到位后底板系统(主次龙骨、钢板)将被埋置于淤泥里,后续底板拆除缺乏空间,拆除困难,影响后期施工进度,多数材料无法回收造成资源浪费,增加施工成本。

## 三、无底套箱钢围堰设计

### (一) 围堰设计

钢围堰内部尺寸与承台尺寸相同,钢围堰兼做承台模板。钢围堰壁板采用A、B、C、D四种类型,壁板高度均为6m,钢围堰均采用I25a竖肋@51.5cm~84cm+工14型钢横肋+6mm厚钢板组成。A型钢围堰块宽2.027m,设置三道竖肋;B型钢围堰块宽1.35m,设置两道竖肋;C型钢围堰块宽2.007m,设置三道竖肋;D型钢围堰块为圆弧形用于承台倒角处,内弧长2.04m,弧板横向背楞采用6mm厚钢带,竖向背楞采用12mm厚钢带。

钢围堰在试拼装并通过参建四方验收合格后,将不同型号块的钢围堰组合成小整体,长边组合为A+B+A,短边组合为D+2C+D,组合后的小整体钢围堰能满足选用的起重设备性能要求,有效提升钢围堰安装、拆除工作效率。

钢围堰内侧顶部以下2.0m处设置一道双拼工40型钢内支撑,钢围堰外侧设置两道围檩。第一道围檩位于底部以上0.8m处,围檩采用双拼工40型钢。第二道围檩位于底部以上4.0m,采用双拼工25a型钢。同层单独的四根围檩之间采用 $\Phi 32$ mm高强度精轧螺纹钢连接。

钢围堰弧形处与内支撑、围檩均无接触点和连接构件形成了薄弱点,因此围檩、内支撑与钢围堰之间增加传力型钢。

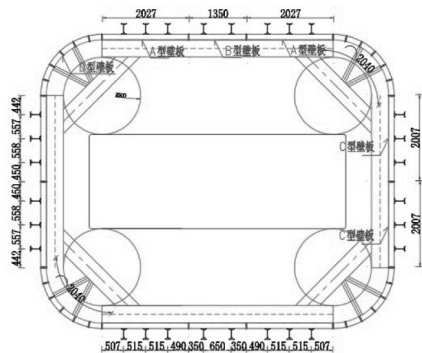


图1 钢围堰平面图

### (二) 封底设计

承台封底结构设计为15mm厚竹胶板+吊筋+ $\Phi 16$ mm钢筋网+50cm厚C30混凝土。钢筋网采用间距15cm的 $\Phi 16$ mm螺纹钢,钢筋网与钢护筒接触的两端各增加20cm的弯钩,弯钩部分与钢护筒焊接,焊缝有效长度不小于

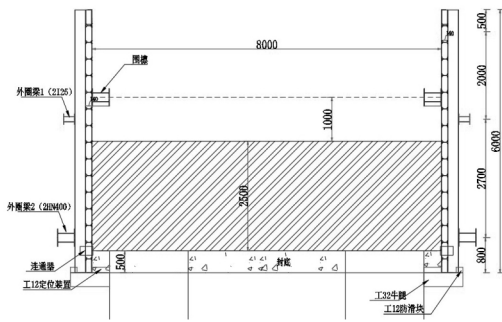


图2 钢围堰立面图

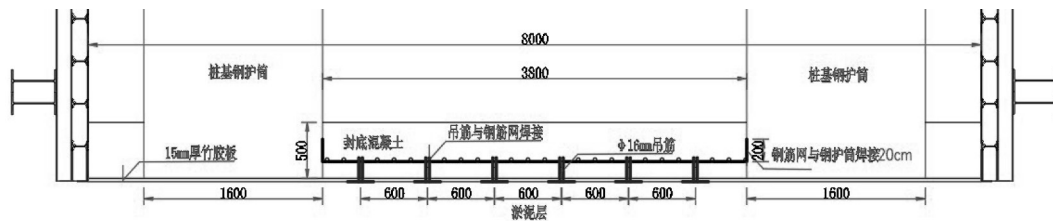


图3 封底混凝土立面图

下方安装时的防滑挡块。工12与工32型钢翼缘板交接处两侧焊接。

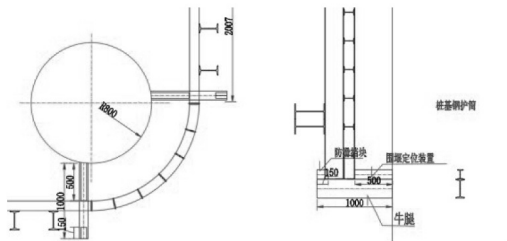


图5 牛腿设计图

#### 四、关键施工工艺

##### (一) 淤泥开挖及牛腿安装

低潮水位海床面外露时利用浮挖机将承台处的淤泥降至封底混凝土底标高位置，牛腿处低于承台封底。焊工乘坐自制浮船进行牛腿焊接作业，涨潮时停止作业。



图6 淤泥层开挖图

##### (二) 围堰安装

钢护筒顶部焊接钢围堰下放导向装置，牛腿焊接完成及淤泥开挖至设计标高后立即安装围堰壁板，涨潮来不及安装时将四块小整体组装钢围堰以牛腿为支撑倚靠在导向装置上，有效阻挡流塑状淤泥在涨落潮过程中回流承台范围内，避免淤泥二次开挖。

10cm，焊脚尺寸不小于12mm。纵横向与钢护筒焊接的钢筋网控制在同一水平面，无焊接钢筋网先铺设短边在铺设长边。吊筋加工成“π”型，底面竹胶板通过吊筋悬吊在钢筋网片上，吊筋开口处于接触的钢筋网片焊接。

##### (三) 牛腿设计

钢护筒沿桥纵横向外侧分别焊接一个工32型钢牛腿，单根牛腿长度为1.0m，牛腿均偏移钢护筒中心位置10cm，确保四块组合后钢围堰开均能搭在牛腿上，且能避开钢围堰高强螺栓连接接缝。牛腿钢护筒一侧顶上焊接一根长为50cm的工12型钢做为钢围堰安装时的定位装置，另一侧焊接一根长为15cm的工12型钢作为围堰壁板

四块组合钢围堰之间采用高强螺栓连接，整体安装后开始围堰内部内支撑安装，低潮水位时安装钢围堰外部的上下两层围檩。



图7 钢围堰安装图

##### (三) 承台封底

预先在竹胶板上预留2cm×12cm吊筋孔，吊筋预留孔按照60cm×60cm的间距布置。钢围堰内铺设竹胶板底板，作业人员站立在竹胶板上焊接承台封底混凝土钢筋网。优先铺设钢护筒之间范围内需焊接的网片，再铺设中间部分钢筋网。通过预留吊筋孔插入“π”型吊筋，吊筋开口端朝上与钢筋网焊接。

冲洗底板接缝处渗入的淤泥，在低潮水位时干封底。封底混凝土强度达到22.5MPa时关闭连通器开始承台钢筋绑扎作业。

#### 五、关键结构受力验算

钢围堰计算考虑的恒载为钢筋混凝土、钢围堰及其他钢构件的自重和水压力、承台浇筑时侧压力。活荷载为施工人员与材料堆放荷载，取2.5kN/m<sup>2</sup>；混凝土浇筑时的冲击荷载及振捣荷载，分别取2.0kN/m<sup>2</sup>；涨落潮是流水产生的冲击力和露出水面部分的钢围堰承受的风荷载。其中恒载分项系数取1.2，活载分项系数取1.4。

##### (一) 牛腿承载计算

牛腿承受的荷载为钢围堰及内支撑、外围檩的重量，最不利情况为纵桥向两个牛腿支撑D+2C+D型组合钢围堰及内支撑、外围檩总重量G，总长度为8.1m，壁板

重量为140.8kg/m<sup>2</sup>，单根牛腿承受的剪力为F=44253N。竖向剪力由工32型钢牛腿及工12型钢定位装置组成的整体与钢护筒的竖向焊缝承载，焊缝长度取44.6cm，弯矩由牛腿承载。

$$N_{\text{剪力键}} = h_e l_w f_f^w = 0.7 \times 446 \times 160 \times 10^{-3} = 49.95 \text{ kN} \geq F$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{FL}{W} = \frac{44253 \times 0.5}{692 \times 10^{-6}} = 31.97 \text{ MPa} \leq 215 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{FS_x}{I_x t_w} = \frac{44253}{27.5 \times 10^{-2} \times 15 \times 10^{-3}} = 10.72 \text{ MPa} \leq 215 \text{ MPa}$$

### (二) 围堰计算

钢围堰在抽水工况下承受的荷载主要为水头压力、水流冲击力、部分承台承受土压力；在混凝土浇筑工况下承受的荷载主要为混凝土的侧压力。钢围堰受力验算采用Midas整体建模的方式进行，围堰设计最高水位为+4.2m，封底混凝土为低水位时干封底，压力荷载自承台底部起算，以最大水头高度为4.2m计算围堰钢板、横肋、竖肋、内支撑应力。外围堰受力计算按最不利的工况最低水位时浇筑承台混凝土。

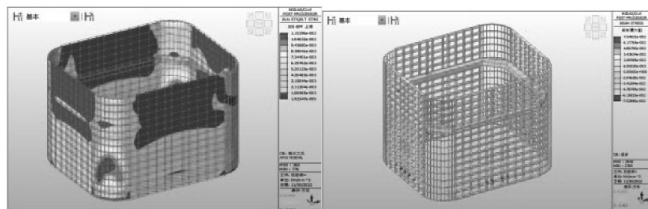


图8 抽水工况受力图

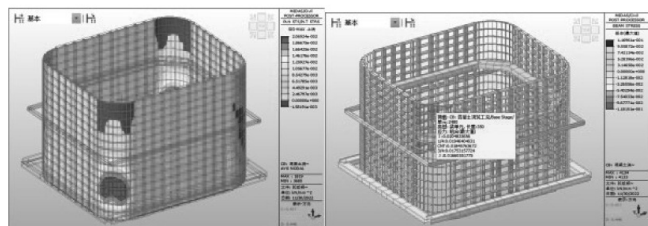


图9 混凝土浇筑工况受力图

表1 围堰构件应力及应变计算结果

		抽水工况				承台浇筑工况			
		钢板	竖肋	横肋	内支撑	钢板	竖肋	横肋	外围
组合应力 (MPa)	计算结果	20.5	169.1	50.1	64.0	20.7	117.0	29.8	15.8
	设计值	215							
剪应力 (MPa)	计算结果	18.6	62.7	10.0	18.4	11.4	43.8	6.4	4.5
	设计值	125							

### (三) 封底混凝土计算

承台混凝土浇筑工况下自身钢筋混凝土产生的自重荷载由封底混凝土与钢护筒之间的摩擦力、封底混凝土中钢筋网片与钢护筒之间的角焊缝承担。封底混凝土计算选择最不利的低潮水位浇筑承台，无浮力的作用。封底混凝土与钢护筒之间的摩擦力取值为150kPa/m<sup>2</sup>，封底混凝土为干封底，不考虑浇筑质量导致的粘结力折减；角焊缝抗剪取值为160kN/m，每个钢护筒上有26处焊缝，每条焊缝的有效长度不小于10cm；钢筋混凝土自重取26kN/m<sup>3</sup>。桩基上方的荷载由桩基自身承受，围堰自重

由牛腿承受，封底混凝土计算不再考虑围堰自重和牛腿效果。

$$G_{\text{封底}} = 1.2 \times (51.35 - 3.14 \times 0.9^2 \times 4) \times 26 \times (2.5 + 0.5) = 3845.1 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{粘}} = 4 \times 3.14 \times 1.8 \times 0.5 \times 150 = 1696.6 \text{ kN}$$

$$N_{\text{剪力键}} = h_e l_w f_f^w = 0.7 \times 100 \times 26 \times 4 \times 160 \times 10^{-3} = 1164.8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{浮力}} = 51.35 \times 4.7 \times 10 = 2413.5 \text{ kN}$$

围堰抗沉安全系数：

$$K = \frac{G_{\text{封底}} + Q_{\text{粘}} + N_{\text{剪力键}}}{F_{\text{浮力}}} = \frac{6706.5}{2413.5} = 2.78 > 1$$

围堰抗沉安全系数：

$$K = \frac{Q_{\text{粘}} + N_{\text{剪力键}}}{G_{\text{封底}}} = \frac{1696.6 + 1164.8}{2413.5} = 1.19 > 1$$

## 六、结语

### 1. 底板系统的设置

竹胶板通过吊筋与钢筋网片相连，钢筋网片与钢护筒焊接，底板、钢筋网、钢护筒形成一套存在变形但不会失稳破坏的体系。解决了封底混凝土浇筑时混凝土直接沉入淤泥，封底混凝土中夹渣淤泥，混凝土超方等一系列问题。

### 2. 钢筋网设置

封底混凝土中的钢筋网发挥了三重作用，承台封底混凝土浇筑时悬挂着竹胶板；钢筋网与钢护筒焊接可以代替型钢剪力键，作为承台混凝土浇筑时的主要承载结构；承台浇筑工况下和抽水工况下填补了封底混凝土抗拉强度低的劣势，减少了封底混凝土厚度。

### 3. 牛腿设计

牛腿设计采用工32型钢与工12型钢组形式，承受竖向剪力的组合焊缝强于工40型钢；焊接在牛腿上工12型钢既可以作为围堰下放过程中的定位装置，也可支撑围堰以抵抗流塑性淤泥回流的侧压力及抽水工况下的水头压力。

### 4. 围堰与模板结合

钢围堰发挥隔水帷幕也兼做承台模板，减少材料投入，围堰可以预先拼装成小整体，吊装次数少，安装拆除方面，提升施工效率。

## 参考文献

[1] 周永兴, 何兆益, 邹毅松. 《路桥施工计算手册》[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.  
 [2] GB50017-2017, 《钢结构设计标准》.  
 [3] JTG/T 3650-2020 公路桥涵施工技术规范.  
 [4] 丁雪英, 张正琦, 王聚龙, 张华, 深水围堰单壁钢套筒施工过程受力分析[J]. 公路交通科技(应用技术版). 2018(12).  
 [5] 戴红凤, 晏勇. 桥梁深水基础钢围堰与基桩同步施工技术探究[J]. 交通世界. 2019(35).  
 作者简介: 邓平秀(1989.06-), 汉, 男, 湖南临武人, 本科, 工程师, 研究方向: 道路与桥梁。