

# 大跨度桥梁水中墩台深水钢板桩围堰施工技术研究

孔 锦

中国水利水电第十四工程局有限公司 云南 昆明 650041

**摘 要:** 中开高速公路横门西水道大桥施工过程中,项目施工技术团队针对主墩水中墩台施工比选了双壁钢围堰、钢吊箱围堰、钢板桩围堰等多种围堰形式;最终根据设计方案,地质和河流水文条件、项目资源情况等,选用了钢板桩围堰。从实际应用情况看,较好的完成了水中墩台施工任务;施工工艺相对简单,技术成熟可靠,施工周期短,施工成本较低,为公司同类型桥梁施工积累了宝贵经验,具有良好的借鉴意义。

**关键词:** 深水;钢板桩;围堰;施工技术

## 前言

珠三角地区水网纵横,道路建设过程中有大量的水中桥梁,大型水上桥梁施工存在建设难度高,施工工艺复杂等特点,特别是下部结构水中施工技术、工艺难度大;我公司参与交通工程建设的时间较短,技术储备不多,经验不丰富,对此类大型桥梁工程的施工组织管理,施工工艺技术等关键技能还比较缺乏,需要不断的摸索和积累,总结提高。

## 1 工程概况

### 1.1 桥型和桥位

中开高速公路横门西水道大桥于广东省中山市翠亨新区跨越横门西水道,河面宽度约730m,主桥桥跨布置为79+2×145+79m变截面预应力钢筋混凝土连续刚构组合梁,主桥全长448m,设桥墩5个,其中7#、8#、9#主墩跨越主航道,6#、10#为过渡墩;主墩承台分左右幅设置,单个尺寸20.6m×10.8m×4.0m;过渡墩承台分左右幅设置,单个尺寸16.5m×7.5m×3.0m。

### 1.2 水文和地质

横门西水道位于珠江入海口伶仃洋西侧,为西江干流主要出海通道;在洪季以径流作用为主,枯季则以潮流作用为主,属双向流河段。汛期径流最大流量为2600~3600m<sup>3</sup>/s,最大流速达1.38m/s,平均流速为1.20m/s,航道水深3~5m,受潮汐变化影响较大。

主桥附近地质情况为:0-4.3m为淤泥质粉质粘土,4.3-8.4m为粉质粘土,8.4-19.1为淤泥质粉质粘土,19.1-25.8为粉质粘土,25.8-28.1为中密中砂,28.1-30m为全风化斜长片麻岩,30-46m为强风化斜长片麻岩,46以下为中风化斜长片麻岩,其中46-55m岩体较破碎,55m以下岩体较完整。

## 2 工艺结构设计

### 2.1 结构设计

以开挖深度最大的6#墩为例进行围堰结构设计,6#墩承台底面标高-7.347m,20年一遇洪水位+2.994m,考虑浪高0.5m,故堰顶标高采用+3.5m,平面尺寸为42.0m×10.4m;共设置三道内支撑,标高分别为+2.0m、-0.5m、-4.0m,封底厚度2.5m;围檩为3I45b型钢,内支撑采用φ630×10mm钢管,为内支撑与围檩相接处加焊加劲板,圈梁与钢板桩之间的连接采用牛腿形式。

### 2.2 材料及设备选型

采用日本新日铁SKSP-IV型拉森钢板桩,长24m、宽400mm、高185mm、重量W=76.1kg/m;围檩采用3拼I45b型钢,内支撑采用φ630×10mm螺旋钢管。

钢板桩插打采用75T履带吊,DZ60型振动锤,激振力486KN,空载振幅9.6mm,允许拔桩力200KN,功率60KW。

### 2.3 结构验算

主要验算封底混凝土厚度,抗浮稳定性,抗隆起稳定性,水土压力,流水压力,不同工况下围堰的受力情况,钢板桩的入土深度,内支撑的受力情况等。

根据施工过程将围堰分为四种工况,工况一为:封底混凝土还未施工时,验算钢板桩入土深度;工况二为:封底施工完成,抽水到-1.0m,准备安装第二道支撑时,验算钢板桩及内支撑受力;工况三为:围堰内抽水到-4.5m,准备安装第三道支撑时,验算钢板桩及内支撑受力;工况四为:第三道内支撑安装完成,封底施工完成,抽水到底,准备进行承台施工,即围堰已最终成型时。

采用SAP2000软件进行验算,结果如下:

1. 工况二时钢板桩弯矩最大,其最大值为427.75KNm,工况三时钢板桩剪力最大,最大值为280.72KN;钢板桩承受的最大应力为188.44MPa < 容许应力210MPa,满足施工要求;钢板桩承受的最大剪力为23.15MPa < 120MPa,满足施工要求。

2. 工况三时, 第二道内支撑受力最大, 最大轴力为1189.17KN, 最大剪力为606.33KN, 最大弯矩为27.03KNM, 内支撑采用内径 $\Phi 630\text{mm}$ , 壁厚 $\delta 10\text{mm}$ 钢管, 满足施工要求。

3. 工况三时, 第二道内支撑受力最大, 围檩承受的最大轴力为110.93KN, 最大弯矩为444.97KNM, 内支撑围檩采用3拼 I 45b工字钢, 满足施工要求。

### 3 施工工艺流程

钢板桩围堰施工工艺流程为: 桩基施工完成→拆除钻孔钢平台→利用钢护筒焊接拼装平台→安装顶层围檩及内支撑→插打钢板桩→钢板桩合拢→抽水、抓泥至第二层内支撑→安装第二层内支撑及围檩→抽水、抓泥至第三层内支撑→安装第三层内支撑及围檩→抓泥至封底混凝土底标高→浇筑封底混凝土→等强、抽水、堵漏→割除钢护筒→破除桩头→钢筋绑扎→预埋件安装→模板安装→混凝土浇筑→拆除模板→承台与钢板桩间依次砂土回填→拆除第三层内支撑→拆除第二层内支撑→拆除第一层内支撑→拔出钢板桩。

### 4 工艺控制重点

#### 4.1 钢板桩的接长

单根钢板桩的常规长度为12m, 需进行接长, 接长焊接时注意事项主要有:

1. 必须保证钢板桩同宽度, 锁口平直并平行, 不扭曲, 不弯曲或突变, 平直偏差需控制在0.1%范围内。

2. 焊接接长需使用胎架, 可现场制作, 各胎架必须垂直且在同一水平面上。

3. 一根接长后的钢板桩上不得多于三个接头; 接长的钢板桩施工时要保证接头不在同一个高程, 相邻钢板桩接头应上下错开。

4. 拉森钢板桩接长焊接前, 坡口两侧20mm范围内必须清除氧化物、水份、油污、泥土等。

5. 接长焊缝需双面焊接, 锁口部位避开不用焊接, 焊缝处的焊渣用砂轮机打磨光滑, 达到要求后焊接加强板; 加强板采用船板, 长500mm, 宽200mm, 厚14-18mm, 每一道对接头, 用四块加强板, 正反面各二块, 加强板四面满焊。

#### 4.2 钢板桩的打设

钢板桩打设过程中的控制要点及注意事项主要有:

1. 为避免钢板桩吊装过程中发生变形和弯折, 应采用三点吊装法, 在人工辅助下进行吊装, 起吊时利用U型钢扣勾住钢板桩上预留的孔洞, 缓缓升起至地面约0.5m的位置。

2. 要保证围堰的封闭性, 在交角处必须使用角桩,

角桩是将钢板桩从中线处切断, 再根据选择的截面进行连接。

3. 钢板桩打设前, 先施工第一道内支撑围檩, 在桩基钢护筒上焊接钢牛腿, 利用牛腿作为围檩的支承和定位装置, 然后以围檩作为导向和基准装置进行钢板桩的打设。

4. 钢板桩插打从上游一角开始, 先打入角桩, 角桩的位置要准确、垂直, 倾斜度小于1%; 角钢插打至设计标高后, 立即与围檩进行焊接, 以抵抗水流冲击; 然后以角桩为基准, 向两边对称插打; 钢板桩打设时必须保证板桩之间锁扣紧密, 遇到插打困难时不宜强行打入, 应分析原因, 拔出重打。

5. 插打钢板桩要做到“插桩正直, 分散偏差, 有偏即纠, 调整合拢”, 在钢板桩围堰施打过程中, 开始时插一根打一根, 即将每一片钢板桩打到设计位置, 到剩下最后5片时, 要先插后打。

6. 钢板桩合拢应选择在水流的下游, 在角桩附近, 插打至合拢面时, 应精确丈量尺寸, 合拢面尺寸应大于理论尺寸15—20cm为宜, 避免合拢口尺寸过小, 为了便于合拢, 合拢口相邻的5片钢板桩宜采取先插至桩的稳定高度, 待合拢后再将桩打至设计标高。

#### 4.3 水下混凝土封底

水下混凝土封底采用导管法, 导管在使用前须进行水密试验, 导管安装时下口悬空15~20cm, 两根导管的间距应尽量缩小; 封底混凝土浇筑注意事项如下:

1. 应采用和易性好、不泌水、不离析, 流动性好、扩展性好的混凝土, 浇筑过程中保持内外水位一致。

2. 封底混凝土浇筑前, 对护筒及钢板桩周围进行清理, 保证结合紧密; 用测绳测量围堰内基坑底部各个部位的标高, 并绘制基底高程平面图, 高差较大的部位应进行修整, 以保证基底大致在一个平面。

3. 水下混凝土封底采用导管分项逐根灌注, 其灌注顺序应从低至高、从周边至中间逐个进行; 单根导管灌注完成后应精确探明砼表面标高, 控制导管埋深。

4. 混凝土的坍落度宜控制在18-22cm, 开始灌注阶段适当增大混凝土的流动性和黏度, 避免在灌注过程中产生离析。

5. 首批混凝土的数量采用 $v = \pi R^2 h / 3$ 公式计算, R为扩散半径, 最大为3m, h为导管底口处混凝土埋高,  $h = 0.5\text{m}$ 。

6. 封底混凝土浇筑完成后, 需要对钢板桩间的缝隙进行封堵, 安排潜水员采用棉絮条在围堰外围对所有钢板桩之间的缝隙封堵一遍, 然后进行抽水, 利用围堰内外的水位差形成的压力, 将棉絮代入缝隙内将缝隙内的空

腔堵住；抽水过程中测量监测人员对围堰的变形情况进行监测，密切观察围堰的渗漏水情况。

7.封底混凝土达到龄期后进行抽水、堵漏，视情况进行二次封底。

#### 4.4 内支撑结构施工

1.围堰内支撑的道数与基坑开挖深度有关，除顶部和底部的两道支撑外，一般情况下每隔3m设一道支撑，具体可根据结构形式和地质情况计算确定。

2.钢板桩打设完成后，先进行第一道内支撑安装，安装完成后开始降低围堰内的水位，降水至第二道支撑位置时，进行第二道内支撑安装。

3.第二道内支撑安装完成后，进行水下抓泥、清基，将围堰内基底标高降低至承台封底混凝土底标高处，然后进行水下测量，合格后进行水下封底。

4.水下封底前需派潜水员对桩基护筒及钢板桩封底混凝土范围内的表面进行进一步的清理，以保证封底混凝土与桩基钢护筒、钢板桩之间结合紧密。

5.水下封底混凝土达到龄期后，进行抽水、堵漏，基坑内应设置足够的集水井抽排渗水；抽干后局部不密实不平整的部位进行二次封底。

#### 4.5 施工过程监测

1.监测是基坑工程信息化施工的重要措施之一，变形和受力计算只能大致描述正常施工条件下围护结构与周边环境的变形规律和受力范围，许多参数取值可能与实际情况存在差异性，因此必须在钢板桩围堰内支撑安装和承台施工期间开展严密的现场监测，以保证基坑施工安全。

2.监测的项目主要有钢板桩顶的水平位移监测、桩身倾斜监测、河水水位监测等；监测仪器一般采用高精度的全站仪，监测需绘制相应的变化曲线和成果表，及时提交给技术部门进行分析。

3.各监测项目在围堰开挖前应测得稳定初始值，且不少于2次；围堰土方开挖期间每天观测1次，稳定后每3天观测1次（水位检测为涨潮和落潮分别观测一次）；当大暴雨、结构变形超过标准或场地条件变化较大时，应加密观测，当有危险事故征兆时，则需进行连续观测。

#### 5 施工工艺效益分析

大型桥梁工程水中墩台钢板桩围堰施工技术在以下方面取得了积极的成效：

1.技术借鉴：大型桥梁水中墩台是施工的重难点，也是高风险点，钢板桩围堰施工工艺简单可靠，材料可重复利用，施工速度快，成本较低，具有良好的借鉴

作用。

2.建设成本：水中墩台施工常用的双臂钢围堰和钢吊箱围堰等制作过程中需要使用大量的钢材，墩台施工完成后，部分钢材无法拆除，需一次性投入，材料用量大，制作成本高；而钢板桩都是标准化产品，可重复利用，施工成本低。从本工程来看，综合建设成本较双臂钢围堰降低30%左右。

3.施工工期：钢板桩围堰施工工期较双臂钢围堰和钢吊箱围堰相对大幅减少，钢板桩围堰施工周期约30天，而双臂钢围堰需2个月左右。

4.施工质量：钢板桩围堰合拢后，通过潜水员对部分钢板桩之间的缝隙采用棉絮和泡沫胶进行封堵，可以较好的实现闭水功能，实现水中干地施工。

5.环境影响：利用钢板桩围堰进行水下墩台施工，工期可以大幅节约，对周边环境影响时间短，尽早解除对河道通航的影响。

6.安全风险：双壁钢围堰和钢吊箱围堰均需要在水上搭设临时平台，利用钢板和型钢进行围堰结构焊接，施工工序较多，施工人员长时间水上作业安全风险较大；钢板桩水上作业时间短，安全风险较低。

#### 6 结语

大型桥梁工程水中墩台施工是桥梁建设中的重难点，施工周期长，造价成本高，水上作业安全风险大；钢板桩围堰施工工艺的成功运用，较好的解决了这些问题，该工艺施工简单，周期相对较短，材料可重复利用，施工成本较低，质量控制简单可靠，安全风险相对较低，施工效率有较大的提升，为同类型桥梁工程施工积累了宝贵的经验，实现了较好的技术效益和经济效益。

#### 参考文献

- [1]《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）人民交通出版社；
- [2]《公路桥涵施工技术规范》（JTJ/T F50-2011）人民交通出版社；
- [3]《钢结构设计规范》（GB50017-2014）中国计划出版社；
- [4]《公路工程水文勘测设计规范》（JTG C30-2015）人民交通出版社；
- [5]《路桥施工计算手册》人民交通出版社；
- [6]《板桩法》中国水利水电出版社
- [7]洪天识 钢板桩的焊接工艺研究.福建交通科技, 2017年第6期。