

文章编号: 1671-2579(2010)05-0207-05

沮漳河特大桥 99[#] 水中墩钢板桩围堰施工技术

王章忠, 汪少雄, 陈三华

(葛洲坝集团第五工程有限公司, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 沮漳河特大桥 99[#] 水中墩钢板桩围堰内承台深埋, 跨枯水期和初汛施工, 设计抽水水头 14 m, 堰内开挖深达 9.4 m, 与 6 层围堰安装干扰极大。如何顺利完成钢板桩插打合龙、如何结合围堰安装进行超深覆盖层的快速开挖、如何结合承台、墩身施工分层拆除围堰以及利用墩身作为围堰的水上拆除平台是项目成败的关键因素, 笔者分别对其进行介绍。

关键词: 方案比选; 钢板桩围堰; 超深覆盖层开挖; 墩顶拔桩

1 工程概况

沮漳河特大桥地处江汉平原西缘, 全长 6 034.15 m, 是汉宜高速铁路线上长度最大的桥梁之一, 99[#]、100[#] 墩是 48+80+48 m 连续梁中跨主墩, 分别采用数百米钢栈桥与两岸相连。桥位河段为平原性河流, V 航道。受下游长江顶托及上游支流山洪的影响, 枯水期水深变化 3~8 m, 主汛初期水深可达 12 m 以上, 施工较困难。

99[#] 墩在主河槽东侧, 采用 12 ϕ 1.5 m 群桩基础, 14.60 m \times 10.60 m \times 3.5 m 的承台及 20.5 m 高圆端形实体墩。承台底部标高为+26.099 m, 即位于冬季最大枯水位 37.32 m 以下 11.22 m 处, 墩身淹没

7.7 m。沿线均为第四系冲洪积地层覆盖, 底部为第四系上~中更新统冲积土。墩位河床标高为+28.78 m, 其上至 34.5 m 高程, 为前期桩基筑岛平台的粉质粘土回填层, 承台深埋达 8.4 m。

由于工期及基础施工进度影响, 99[#] 墩(表 1)的承台墩身将不得不在主汛初期(实际是在 4~6 月, 墩位最大河床水深约 12 m)高水位时施工。墩身施工能否安全, 直接关系到该桥总工期目标的实现。

2 水中墩施工方案比选

99[#] 墩承台深埋, 施工期间水深变化大, 工期紧迫。工程前期研究了明渠导流、无底钢套箱围堰、沉井、单层钢板桩围堰等常规的水中墩施工工艺, 经反复

进行了抽芯检测, 芯样在桩底段确实较差, 在 8.5 m 处离析, 其他测点芯样完好。抽芯结果与综合评判的结果相吻合, 说明综合评判法是准确可信的。

3 结语

(1) 评价结果具有唯一性。综合评价法能综合考虑声速、波幅与波形的影响, 且等级划分的界限是渐变的, 不是简单的合格与不合格两个等级。综合评价法不必依赖于某单一参数, 也不会出现评价结果相矛盾的情况, 这显然较单因素法优越得多。

(2) 根据不同情况, 可以灵活调整权重分配。当声速、波幅的某个参数由于某种原因导致数值失真时,

可以调小它在综合评价中的权重, 这对于声速尤其重要, 因为声速易受其他因素的影响, 如声测管弯曲、倾斜会导致声速测值的失真, 此时可以调小它在综合评价中的权重, 评价结果就更为准确可信。

参考文献:

- [1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 张宏. 公路工程基桩动测技术规程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [3] 王晓谋. 基础工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [4] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.

收稿日期: 2010-06-21

作者简介: 王章忠, 男, 教授级高工。

表1 99# 水中墩工程地质描述

岩性	岩性描述	层厚/m	层底标高/m	基本承载力/MPa
粉砂	灰色, 松散, 饱和	0.80	28.78	90
粉质粘土	褐红色, 软塑	2.00	26.78	120
细砂	灰色, 饱和, 松散	5.70	21.08	100
卵石土	杂色, 饱和, 密实, 粒径 60~ 80 mm 约占 50%, 最大粒径约 100 mm	11.50	9.58	400

比选后认为: 明渠开挖、恢复量太大, 且两岸钢栈桥各单跨跨度仅 9~ 12 m, 无法保证过流, 加上 93[#] ~ 98[#] 各墩承台浅埋, 抗冲防护量大; 无底钢套箱一般也适宜水深 10 m 以下砂卵石及砂层河床, 符合该墩地质情况, 工艺成熟, 但施工内容多, 周期太长, 且钢围堰在墩

身浇筑完后需进行水下切割, 成本高; 沉井方案工期长、成本高; 采用钢板桩围堰(图 1、2)具有插打快、成本低、工艺相对简单等诸多优势, 但缺点是入土较深、需要做好水下堵漏、须在汛期拔出, 若租用浮吊, 受航道和水位影响太大, 需要认真研究拔出方案。

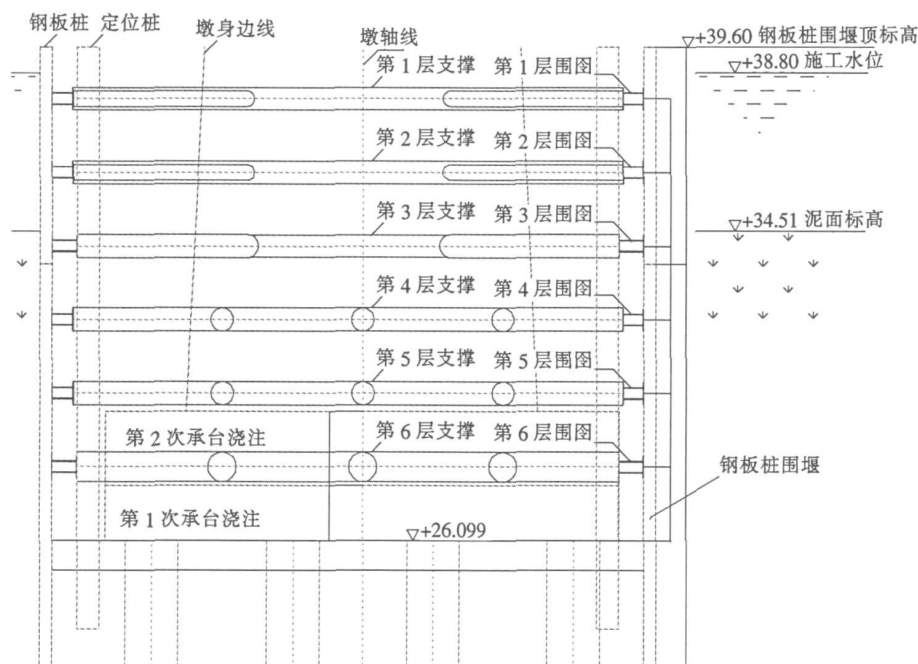


图1 钢板桩围堰立面结构示意图(单位:m)

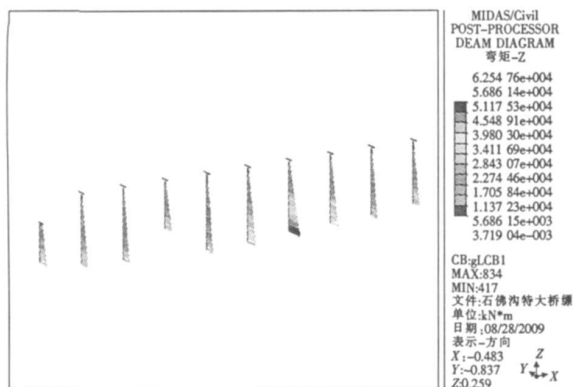


图2 钢板桩围堰平面结构示意图(单位:mm)

经过多次方案讨论, 决定采用单层超长钢板桩围堰施工工艺, 先桩后围堰方案施工, 即抢抓冬季低水位筑岛至 34.5 m, 宝峨 BG25 旋挖钻机成桩, 再施打钢板桩围堰, 在围堰保护下分 2 层完成承台及首节 10 m 墩身施工, 6 月份搭设墩顶钢平台, 吊车上墩顶拔出钢板桩。总工期为 3 个月。

3 99[#] 水中墩钢板桩围堰设计施工

3.1 设计概述

通过综合相关水文资料和实地调查, 拟定 6 月中旬最高施工水位 + 38.80 m, 洪水水头 13.9 m。该围

堰水头高、入土深,选用SKAP-IV型拉森桩(日标),截面刚度大,小锁口,止水能力强。设计桩长21 m(实际施工中,底部卵石土地层浅于地勘报告,核算后减小了嵌固深度,采用18 m桩长,桩底高程+21.6 m)。

采用16.8 m × 13.6 m矩形围堰,因上游侧距钢栈桥仅1.5 m,扣除振动锤作业空间后板桩距承台边缘0.7 m,其余三边各留1.5 m的作业空间。共设6层围图,底层位于承台内,顶层距围堰顶1.6 m,层间间距2 m。第1~3层围图为角隅支撑型,第4~6层为格构式(井字形)。围图分别采用HN588 × 300、HN700 × 300型钢,斜撑和内撑采用φ426~φ800 mm螺旋焊接钢管。

3.2 围堰计算概述

3.2.1 板桩嵌固点计算

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{mb_0}} = 1.93 \text{ m} \text{ (见港口工程桩基规范附录$$

C), 嵌固深度: $Z_m = \eta T = 2.2 \times 1.93 = 4.24 \text{ m}$ (η 值取2.2), 取 $Z_m = 4.5 \text{ m}$ 。

3.2.2 主动土压力及静水压力计算

考虑水位为+38.80 m, 土层顶标高为+34.50 m, 土层参数取加权平均后(水位以下):

$$p_a = \left(\sum \gamma' H + q \right) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \gamma_w H_w = 409 \text{ kPa}$$

3.2.3 被动土压力计算

考虑围堰内水位为+25.10 m, 土层顶标高为+25.10 m, 土层参数取加权平均后(水位以下):

$$p_p = \left(\sum \gamma' H + q \right) \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \cdot \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + \gamma_w H_w = 294 \text{ kPa}$$

3.2.4 工况设定

工况1: 抽水至+37.00 m标高位置, 第2层围图未安装; 工况2: 抽水至+34.00 m标高位置, 第3层围图未安装; 工况3: 吸泥至+31.50 m标高位置, 第4层围图未安装; 工况4: 吸泥至+29.00 m标高位置, 第5层围图未安装; 工况5: 吸泥至+27.00 m标高位置, 第6层围图未安装; 工况6: 吸泥至+25.10 m标高位置, 所有围图安装完成。

3.2.5 钢板桩、内支撑设计及受力验算

(1) 边界条件

钢板桩在嵌固点固结, 围图支撑处铰接。计算考虑1 m长度的钢板桩。依照JTJ 025-86《公路桥涵钢结

构及木结构设计规范》, 临时工程Q235-B钢材的容许应力: 弯应力、综合应力 $[\sigma] = 145 \times 1.3 = 188 \text{ MPa}$, 剪应力 $[\tau] = 85 \times 1.3 = 110 \text{ MPa}$ 。计算结果见表2。

表2 围堰计算结果

工况	支座反力/ kN	最大位移/ mm	钢板桩应力/ MPa
1	36	11	52
2	98	4	36
3	184	4	48
4	360	9	100
5	563	8	118
6	761	9	152

(2) 示例1: 第4、5层围图结构验算

用Ansys软件建立计算模型, 分析后发现, 在工况5时, 围图从上至下的第4、5层结构应力最大, 围图的最大荷载为563 kN/m。

第4、5层围图计算模型如图3所示, 计算结果见表3。

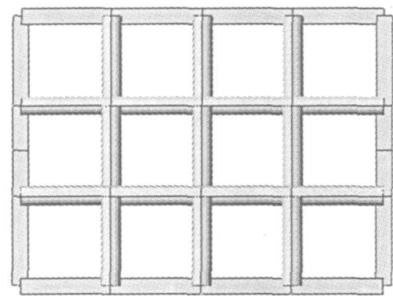


图3 第4、5层结构计算模型

表3 第4、5层围图计算结果(工况5)

围图(2HM588)内力/MPa		支撑(φ630 × 8 mm)内力		
综合应力	剪应力	轴应力/ MPa	弯曲应力/ MPa	轴力/ kN
176	100	150	3	2 349

(3) 示例2: 第5层围图φ630 mm × 8 mm支撑稳定性验算

最大轴应力150 MPa, 最大弯曲应力3 MPa, 最大轴力 $N = 2 349 \text{ kN}$ 。

$$i = \sqrt{\frac{I}{NA}} = 0.22 \text{ m}, \text{ 计算长度 } l_0 = \mu_1 = 4 \text{ m}, \lambda =$$

$$\frac{4}{0.22} = 19, \text{ 属于 b 类截面; 查表得: } \phi = 0.973, \sigma = \frac{N}{\phi_x A}$$

$$+ \frac{B_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8N/N'_{EX})} < f = 158 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 188$$

MPa, 稳定性满足设计要求。

式中: γ_s 为截面塑性发展系数, 取 1.0; N'_{EX} 为欧拉临界力; β_{mx} 为等效弯矩系数, 取 1.0。

3.3 总体施工流程

因内撑多达 6 层, 围堰安拆、堰内开挖和墩台分层的交错施工, 是该围堰工况设计的首要问题。总体施工流程(钻孔桩、围堰、承台、墩柱)如下:

施工准备 → 水中筑岛 → 桩位放样 → 旋挖钻就位 → 钢护筒埋设 → 钻孔完成 → 下钢筋笼 → 灌注 → 围堰施工准备 → 测量定位 → 导向框施工(钢板桩内支撑 1) → 打钢板桩 → 钢板桩内支撑 2 → 水下开挖 → 浇筑水下封底混凝土 → 逐层抽水、焊接第 3~6 层内撑 → 清基堵漏 → 破桩桩检 → 浇筑第 1 层承台混凝土 2 m → 第 1 次回填(中粗砂), 拆除第 6 层内撑 → 浇筑第 2 层承台混凝土 1.5 m → 第 2 次回填, 拆除第 5 层内撑, 安装连续梁临时墩 → 浇筑第 1 段 10 m 墩身混凝土 → 第 3 次回填, 拆除第 4 层内撑 → 浇筑第 2 段 10.5 m 墩身混凝土 → 焊接临时墩附墙支撑 → 浇筑临时墩混凝土(按水下混凝土工艺) → 逐层充水、拆除第 1~3 层内撑 → 拔桩、撤场。

3.4 单层超深钢板桩打入施工要点

采用履 - 50 吊车、DZ90 振动锤、配 250 kW 发电机。

3.4.1 定位桩及内外导向框

φ630 mm × 8 mm 定位桩 8 根, 内侧 4 根均打入封底混凝土以下, 作为围堰抽水时的抗浮连通管。上层内导向框利用第 1 层围堰, 下层内外导向框设置在定位桩露出水(地)面 50 cm 处, 架设在定位桩的钢牛腿上。实际施工时, 两层导向框间距加大至 4 m, 有效地保证了超深板桩的入土顺直度。

3.4.2 插打与合龙施工

(1) 钢板桩打入总体施工流程(图 4)

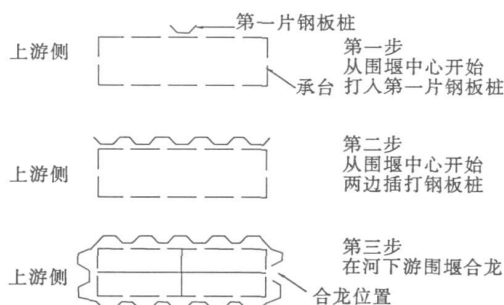


图 4 钢板桩插打及合龙总体施工流程示意图

打桩前先在上、下导向框上均分钢板并划线定位。

从河西(宜昌)侧围堰中心开始插打, 在河下游(短边)合龙。首桩以导梁为定位, 反复校正打设位置和方向, 以起到样板的作用。每进尺 3 m 测量校正 1 次, 确保垂直度。首桩插打到设计标高后, 即用加劲板与导梁焊接牢固。

逐片起吊各片钢板桩, 人工扶持插入前一片钢板桩锁口, 然后用振动锤振动贴紧导梁下沉。插打一片或几片后, 将已插好的钢板桩点焊固定于导梁上。整个施工过程中, 要用锤球始终控制每片桩的垂直度, 发现倾斜, 及时调整。调整工具有千斤顶、木楔、导链等。插打过程中, 须遵守“插桩正直, 分散即纠, 调整合龙”的施工要点。

合龙段, 到剩下最后一部分时, 先插后打, 若合龙有误, 用倒链或滑车组对拉合龙, 对拉时不要过猛, 以防止合龙段缝隙过大。合龙后, 再逐根打到设计深度。钢板桩合龙通过精确计算, 确定龙口位置, 可采用配桩法合龙。配置相应规格的异形钢板桩, 现场实测异形钢板桩的角度和尺寸, 根据实际切割焊接异形钢板桩, 以确保整个围堰的密封性。该项目插打校正准确, 未使用异型合龙桩。

(2) 其他

1) 尽可能地使桩保持竖直, 严防超深状态下, 锁扣撕裂, 确保锁口能顺利咬合, 提高止水能力; 2) 板桩沉至设计高度前 40 cm 时, 停止振动, 振动锤会因惯性继续转动一定时间, 打桩至设计高度; 3) 在打完钢板桩后, 开始进行钢板桩围堰内的止水处理; 4) 钢板桩打入之前需在锁口内涂以黄油、锯末等混合物。当锁口不紧密漏水时, 用棉絮等在内侧嵌塞, 外侧包裹一层防水彩条布, 起到防水和减小水压力的双重效果; 5) 钢板桩施打过程中应设置观测点和仪器跟踪, 避免围堰偏位, 尤其超深板桩的偏位累积很难校正。施工中曾有多片拔出重打。

4 99[#] 水中墩超深覆盖层开挖与封底混凝土施工

4.1 堰内开挖施工

覆盖层以粉质粘土、砂层为主, 挖深达 9.4 m。原设计为水下开挖, 成本偏高, 效果较差。河道中的钢板桩整体性较好, 若做好预案, 即使发生管涌型渗透破坏, 也不会对结构造成不利影响, 遂按水位变动, 灵活采用干处和水下开挖相结合的方案。

第一阶段: 第 1~3 层围堰采用角撑式布置, 可采

用小反铲明挖,开元 KY60-7 型配自制 2 m³吊土斗 2 个,50 t 履带吊及 1 台 16 t 汽车吊出土。因卸土较快,台班开挖能力 150 m³,总开挖方量 1 200 m³,有效作业时间约 70 h。

第二阶段:第 4~6 层围堰采用格构式,空间狭窄,且部分桩头超高达 3 m,反铲开挖困难。因此改为采用射水吸泥,总挖深 4.1 m。2 台水泵高压射水,2 台 100 m³/h 泥浆泵吸泥。参考有关文献及以往施工经验,类似开挖时平均排浆浓度为 15%~20%,该项目按最低值 15% 预计,则有效开挖能力约 30 m³/h,总开挖方量 936 m³,理论有效作业时间 32 h。施工中试验了增设泥浆罩的措施,进一步提高了吸浆浓度。

当吸泥过低出现涌砂迹象时,立即停止围堰内干施工吸泥,并向围堰内补水至适当高度,再进行水下射水吸泥,最后吸泥到设计标高-24.9 m。

开挖后即派专人探测基底高程,做好各处的测深记录,用碎石补填平整到设计标高。该方案有效开挖时间 102 h(4.5 d),3~6 层围堰安装时间各约 12 h,合计约 6.5 d。顺利实现了工期要求。

4.2 抽水堵漏与围堰安装的结合施工

(1) 止水堵漏。抽水时同时在外侧水中漏缝处撒大量木屑或谷糠和炉渣的混合物,由水夹带至漏水处自行堵塞,在桩脚漏水处,采用了局部混凝土封底措施。漏水严重堵漏困难时,在钢板桩外侧补打木桩围堰,木桩围堰内侧铺设彩条布,在彩条布与钢板桩围堰间填筑粘土进行封堵。

(2) 围堰内撑。开挖时尽量保持泥面均匀下降。挖到每层支撑面以下 1 m 后,及时安装围堰和内撑,以确保围堰及人员设备安全。各层围堰在堰内接长拼成整根围堰,以 $\angle 125 \times 125 \times 10$ 角钢短牛腿作为临时支撑,待各层安装并连接就位后,再与钢板桩焊接牢固。

4.3 封底混凝土浇筑

若采用水下混凝土封底,需制作大型钢平台,投入大量导管。因开挖完成后河道水位降至 33 m 左右,机遇难得,迅速抽干围堰,改用干处浇筑封底混凝土的方案。浇筑前对板桩内壁及桩基泥皮快速清理,并用高压水冲洗干净。采用 C30 混凝土,厚度 1.0 m,浇筑时底部出现 2 处较明显管涌,在加强排水和采取掺配速凝剂的混凝土压制后,加快灌注速度。顺利完成了封底混凝土浇筑。

钢板桩支护止水完成后,利用四角预留的集水坑,

及时抽排围堰内渗水。封底混凝土平整度较差,采用风镐修整到承台设计底标高处,并保持承台范围干燥,方便桩头凿除和桩检。

5 钢板桩的水上拔除

6 月上旬完成承台施工后,正值汛期高水位,若在上游侧栈桥上拔出,理论上 100 t 的吊车才能满足,但栈桥无法承受。而限于条件无法使用常规的浮吊拆除方案。如果等 3 个月汛期后再拆,板桩租金将增加 24.6 万元。后来大胆采用墩顶搭设平台的拆除方案。即主墩及临时墩浇筑至 10 m 高时(比上游侧钢栈桥桥面低 40 cm)暂停,从钢栈桥至墩顶铺设 2 组 HN700 型钢平台,50 t 履带吊开上墩顶进行拔桩作业。拔除作业要点:1) 在内撑全部拆除后,向围堰内灌水,使内外水压平衡,板桩挤压力消失;2) 在拔桩时,采用振动锤进行拔除,尽量使板桩下部与混凝土脱离,然后再进行拔桩。拔桩时要先振动 1~2 min,使钢板桩周围的土松动,产生“液化”,再慢慢启动振动桩锤拔桩。在有松动后再边振边拔,防止蛮干。对桩尖打卷及锁口变形的桩,加大拔桩设备的能力,将相邻的桩一齐拔出。拔一根清理一根。并及时运走,以保证场地的清洁;3) 按与打板桩顺序相反的次序拔桩。

该方案实施非常顺利,仅用了 5 d 时间就基本完成拔桩施工。

6 结语

99[#] 水中墩施工期间经历了多次洪峰考验,于 2009 年 6 月顺利完工。实践证明:该围堰的方案比选、结构设计、施工方法和施工机械配备,对水位变化大、有超深覆盖层、需要水上拆除的类似工程有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 交通部第一公路工程总公司.(公路施工手册)桥涵[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [2] 彭振斌,张可能.深基坑开挖与支护工程设计计算与施工[M].北京:中国地质大学出版社,1997.
- [3] JTJ 254-98 港口工程桩基规范[S].
- [4] JTJ 025-86 公路桥涵钢结构及木结构设计规范[S].
- [5] GB 50017-2003 钢结构设计规范[S].