

超长钢板桩围堰合理内支撑施工方案

张 骏

(上海铁路局 建设管理处, 上海 200071)

摘要: 钢板桩围堰合理的内支撑施工方案对施工安全、工期长短、成本大小均有一定的影响。以阜阳至六安铁路颍河特大桥深水基础超长钢板桩围堰施工实践为例,通过建立钢板桩、内支撑和土层相互作用的三维整体有限元模型,根据封底混凝土施工时机的不同,选择 4 种施工方案,对超长钢板桩围堰内支撑施工方案进行了探讨。结果表明:封底混凝土施工越早,对围堰结构的整体安全越有利;实际采用的施工方案要根据桥址处工程地质条件,结合实际工程情况,经方案比选和分析论证以后确定。

关键词: 深水基础; 钢板桩围堰; 内支撑施工; 施工方案; 数值模拟

中图分类号: U445.556 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)02-0019-06

对于钢板桩围堰而言,合理的内支撑施工方案至关重要,它关系到钢板桩围堰的施工安全、施工工期的长短和施工全过程成本的高低。由于钢板桩围堰的设计计算大多采用平面几何模型及简化力学模型^[1-2],缺少了空间整体分析,不能反映施工全过程的力学响应,而考虑钢板桩、内支撑和土层相互作用的有限元分析方法对施工过程的模拟是合理的。

以新建阜阳至六安铁路颍河特大桥深水基础超长钢板桩围堰施工实践为例,通过建立钢板桩、内支撑和土层相互作用的三维整体有限元模型,从而实现对钢板桩围堰施工过程的模拟。根据封底混凝土施工时机的不同,选择四种施工方案,通过对比分析不同施工方案下钢板桩桩身变形及其等效应力、内支撑的轴向应力,对超长钢板桩围堰内支撑施工方案进行了探讨。

1 钢板桩围堰设计概况

颍河特大桥钢板桩围堰设计为矩形,平面尺寸为 28.0 m×22.4 m,如图 1 所示。钢板桩长度为 30.0 m,钢板桩顶设计标高 28.36 m,钢板桩桩尖标高为 -1.64 m,桩尖在封底混凝土底面以下不少于 9.0 m。

围堰从上到下设六道支撑,最上面一道为第一道支撑,最下面一道为第六道支撑,依次排序。第一道、第二道和第三道围檩与内支撑均由单排 H 型钢 H40c 组成,支撑中心线标高分别为 27.46 m、24.46 m 和 21.46 m;第四道、第五道和第六道围檩及内支撑均由双拼 H 型钢 2H40c 组成,支撑中心线标高分别为 18.66 m、15.86 m 和 13.36 m。在上部五道之间设置剪刀撑(角钢 L160×10)和竖撑 2 [20a,将各道支撑连成整体,以提高钢板桩围堰的整体刚度。其设计断面如图 2 所示。

2 有限元模拟方案

2.1 分析模型的建立

考虑到围堰开挖对周围土层的影响,建立土层模型时,模型的侧面边界到钢板桩的距离分别取为围堰开挖范围的 3 倍,在深度方向上从封底混凝土底面向下取为基坑开挖深度的 3 倍。土层三维有限元模型的边界范围如下:水平方向(X 方向,即钢板桩围堰的长度方向)取为 196 m,纵向(Z 方向,即钢板桩围

收稿日期:2011-12-25

作者简介:张骏 男 1973 年出生 高级工程师

基金项目:上海铁路局科研计划(2010077)

部边界受到 Y 轴方向的竖向位移约束; 河床表面为自由边界, 不受任何约束。

模型的初始状态, 对土层在自重应力条件下进行求解, 然后对位移清零。再设置钢板桩进行稳定求解, 得到钢板桩插打合龙以后的状态。在模拟抽水吸泥施加各层支撑时, 采用 ANSYS 软件生死单元功能依照加各层支撑的顺序, 依次激活各层支撑, 实现对各层支撑的模拟。每一层支撑是在钢板桩变形以后施加上去的, 通过改变节点坐标的大小来实现。抽水引起的水位变化采用水压力施加给钢板桩来计算, 吸泥开挖采用土单元的生死功能来模拟。

2.2 计算参数的确定

计算过程中, 土层采用 Drucker-Prager 弹塑性模型来模拟。土层的物理力学参数根据地质勘察报告, 并参考《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)^[3] 规定选取, 如表 1 所示。

表 1 土层的物理力学参数

层号	岩性	重力密度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	饱和密度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	浮容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	剪切指标		变形模 量/MPa	泊松比
					粘聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)		
① ₃₁	粉砂	19.1	19.1	9.1	0	22	8.10	0.28
② ₁₁	粉黏	19.4	19.6	9.6	34.6	14.3	3.77	0.30
② ₂	粉土	19.8	19.82	9.82	15.9	14.3	3.45	0.31
④ ₁	粉黏	19.6	19.76	9.76	37.9	13.1	3.75	0.33
④ ₂	粉土	19.9	20.2	10.2	10.6	23.6	6.6	0.32
⑤ ₁	粉黏	19.8	19.89	9.89	36.8	14.9	4.07	0.34
⑤ _{1夹}	粉土	20.3	20.53	10.53	6	33.7	5.34	0.31
⑤ ₂	粉土	20.3	19.9	9.9	24.4	23.7	4.67	0.31
⑤ ₃₁	粉砂	19.1	19.1	9.1	0	22	8.10	0.28

钢板桩、围檩和内支撑采用理想线弹性模型, 弹性模量取为 206 GPa, 泊松比取为 0.3。由于钢板桩接缝以摩擦力控制, 在受弯变形时钢板桩围堰的刚度介于桩墙和单根桩之间, 根据以往经验, 把刚度折减 50%^[4], 这时钢板桩的弹性模量取为原来的一半, 即为 103 GPa。

拉森Ⅳ型钢板桩截面模量 $W = 2\,037\text{ cm}^3$, 设计应力容许值。围檩和内支撑采用钢材材质为 Q235B, 设计应力容许值, 焊接选用 E43 系列焊条, 一律满焊。

C20 封底混凝土根据《混凝土结构设计规范 GB50010—2002》^[5] 的规定, 其弹性模量取为 30 GPa, 泊松比取为 0.2。由于混凝土的受力不是很大, 因此假设混凝土也为线弹性模型。

2.3 内支撑施工方案的模拟

根据封底混凝土施工的时机不同, 将内支撑施工方案设计成以下四种: 第一种方案, 逐层抽水吸泥并依次施加内支撑直至第六道支撑, 最后采用碎石垫层作为承台施工平台, 不考虑封底混凝土施工; 第二种方案, 在逐层抽水吸泥并施加内支撑到第五道支撑后, 水中对基坑进行吸泥开挖, 开挖至设计承台底面标高以下 2 m 的位置时, 采用 2 m 厚度的 C20 混凝土进行水下封底混凝土施工, 然后抽水并施工第六道内支撑; 第三种方案, 在逐层抽水并施加内支撑到第三道支撑(河床面在第三道至第四道支撑之间)后, 水中对基坑进行吸泥, 开挖至设计承台底面标高以下 2 m 的位置时, 采用 2 m 厚度的 C20 混凝土进行水下封底混凝土施工, 然后逐层抽水并依次施工后三道内支撑; 第四种方案, 在施加第一道内支撑后, 水中对基坑进行吸泥, 开挖至设计承台底面标高以下 2 m 的位置时, 采用 2 m 厚度的 C20 混凝土进行水下封底混凝土施工, 然后逐层抽水并依次施工五道内支撑。

3 计算结果的对比分析

为了便于对比, 在对计算结果进行分析时, 选取最后一个工况(即施工承台下半部分并拆除第六道内

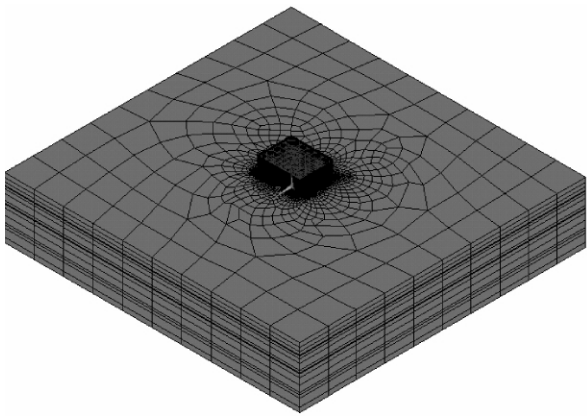


图 3 考虑桩土相互作用的钢板桩围堰三维整体有限元模型

支撑进行体系转换)的计算结果,分别从钢板桩桩身变形及其等效应力、围檩和内支撑轴向应力三个方面,探讨钢板桩围堰的合理内支撑施工方案。

3.1 钢板桩桩身变形的对比分析

在水压力和土压力共同作用下,沿着钢板桩长度方向,基本上都是钢板桩围堰长边和短边的中心线上位移比较大,并且钢板桩长边的最大位移大于短边的最大位移。四种内支撑施工方案的钢板桩 Z 方向(垂直于长边)中心线的桩身变形随钢板桩长度的变化关系如图 4 所示。钢板桩的长度方向以向下为正,取顶部为坐标原点,位移以向钢板桩围堰内部变形为正。

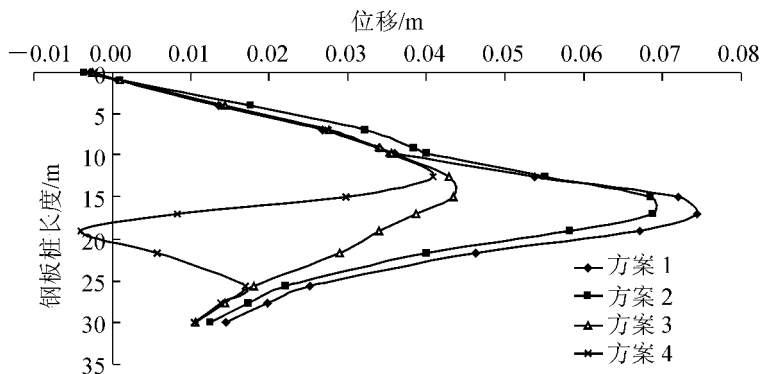


图 4 钢板桩 Z 方向中心线的桩身变形随长度的变化关系

由图 4 可知,不同内支撑施工方案钢板桩的桩身变形相差很大。方案 1 的最终变形是方案 2 的最终变形的一倍多,是方案 3 的最终变形的 1.5 倍左右,是方案 4 的最终变形的两倍以上。这是由于封底混凝土弹性模量要远远大于土层的弹性模量,导致方案 2、方案 3 和方案 4 的变形曲线与方案 1 相差比较大。从钢板桩桩身变形分析来看,宜选用方案 4。

3.2 钢板桩等效应力的对比分析

由于围堰边角处应力集中效应的影响,各种施工方案钢板桩等效应力的最大值都集中在四个角边。考虑到模型对称性和边界条件对称性,取一个角边为研究对象来探讨等效应力沿钢板桩长度的分布规律。4 种方案下,钢板桩角边处的等效应力随长度的变化情况如图 5 所示。

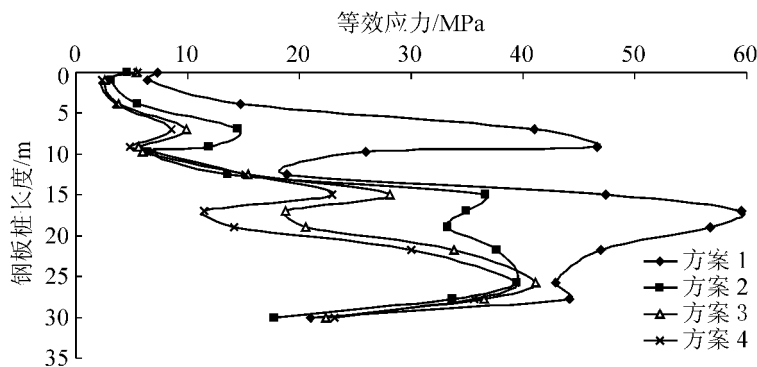


图 5 钢板桩等效应力随深度的变化图

由图 5 可以看出,不同施工方案钢板桩的等效应力变化趋势不一样。由于内支撑和围檩的作用,钢板桩等效应力随深度的变化图出现了很多转折点。比较钢板桩等效应力随深度的变化关系可知,方案 4 对应于钢板桩的等效应力最大值最小,其次为方案 2 和方案 3,方案 1 对应于钢板桩的等效应力最大值最大;并且方案 2、方案 3 和方案 4 变化趋势和大小比较接近。从这一点来看,方案 4 更优。不过方案 1 钢板桩等效应力最大值也远没有达到容许应力值。

3.3 内支撑轴向应力的对比分析

4 种不同的内支撑施工方案,围檩和内支撑的轴向应力最大值均出现在第六道支撑平行于短边的中

间杆件上。由计算结果可以看出,方案1、2、3、4对应的围堰和内支撑轴向应力的最大值分别为109 MPa、87.6 MPa、80.5 MPa和79.9 MPa。这些值都小于围堰和内支撑材料的容许应力145 MPa。

对比以上四种施工方案,方案4对应于围堰和内支撑的轴向应力最大值最小,其次为方案2和方案3,方案1对应于围堰和内支撑的轴向应力最大值最大。从围堰和内支撑的轴向应力分析来看,应该选择方案4。

4 讨论

综合以上分析结果,无论是从钢板桩桩身变形、钢板桩的等效力,还是从围堰和内支撑的轴向应力来考虑,方案4均最优,因为它对应于钢板桩围堰施工中的变形和应力均最小;其次才是方案3和方案2;而方案1的变形和应力虽然都较大,但也仍然没有超出容许范围。

若采用模拟计算推荐的施工方案4,根据颍河特大桥深水基础的设计和地质情况,一方面,由于封底混凝土底面到河床面以下深达10 m,吸泥深度较深,水中吸泥工程量较大,需要的时间也很长;另一方面,水中吸泥遇到部分硬塑粉质粘土,导致水中吸泥施工非常困难,封底效果不甚理想,耗费的施工时间无法预料,工期也不能有效保证。

考虑到该工程工期较紧,根据颍河特大桥深水基础的地质条件,拟顺序施加各层围堰和内支撑,不进行水下封底施工,只铺设一层0.5 m厚度的素混凝土垫层,作为一个施工平台,类似方案1的施工工序。从前面的分析来看,方案1下的钢板桩桩身变形、钢板桩等效力以及围堰和内支撑轴向应力都可以满足要求,虽然它不是最优方案。为此,需对实际施工过程进行详细分析,并进行基底抗隆起分析和围堰整体抗倾覆稳定性分析,为施工方案的最终选择提供理论支持。

5 结束语

(1) 钢板桩围堰变形和应力最小的内支撑施工方案是:在安装第一道围堰和内支撑后,进行水下吸泥开挖并进行封底混凝土的施工,然后从上到下依次抽水安装各层围堰和内支撑。

(2) 在钢板桩围堰施工过程中,封底混凝土施工越早,对围堰结构的整体安全越有利。这是因为封底混凝土的刚度较大,有效限制了围堰结构变形的发展;封底混凝土施工越早,在钢板桩围堰施工期间引起的钢板桩桩身变形和等效力、以及围堰和内支撑轴向应力就越小,对结构的安全越有利。

(3) 实际采用的内支撑施工方案不一定是施工过程中变形和应力最小的方案,要根据桥址处工程地质条件,结合实际的工程情况,经方案比选和分析论证以后确定。

参 考 文 献

- [1] 罗万录. 深水基础用钢板桩围堰计算分析[J]. 铁道标准设计, 2009(4): 74-77.
- [2] 张国军. 浍河特大桥钢板桩围堰的有限元分析[J]. 国防交通工程与技术, 2009, 7(4): 48-51.
- [3] 中华人民共和国水利部. GB/T 50145—2007 土的工程分类标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [4] 骆冠勇, 曹洪, 潘泓, 等. 新光大桥桥墩钢板桩围堰的优化设计与监测[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006, 34(2): 124-129.
- [5] 中华人民共和国建设部. GB50010—2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

Reasonable Construction Scheme of Internal Bracing for Super-long Steel Sheet Pile Cofferdam

Zhang Jun

(Construction Management Office, Shanghai Railway Administration, Shanghai 200071, China)

Abstract: Reasonable construction scheme of internal bracing for steel sheet pile cofferdam affects construc-

tion safety and construction period and construction cost. A case study was done for super-long steel sheet pile cofferdam construction of deepwater foundation at Ying River Bridge of railway line from Fuyang to Lu'an. Three-dimensional finite element model considering steel sheet pile and internal bracing and soil layer is established. Four construction schemes are selected according to different construction opportunity of bottoming concrete. Construction scheme of internal bracing is discussed for steel sheet pile cofferdam. Results show that earlier construction time of bottoming concrete may provide safer cofferdam structure, and the actual construction scheme should be determined by scheme comparison and analysis according to engineering geological conditions of bridge site and actual engineering situations.

Key words: deepwater foundation; steel sheet pile cofferdam; internal bracing construction; construction scheme; numerical simulation

(责任编辑 车轩玉)

~~~~~  
(上接第 14 页)

## Selection of Cable-stay System for Cable-stayed Bridge Based on Full Life Design Theory

Chen Wei<sup>1</sup>, Hu Daxin<sup>2</sup>

(1. Civil Engineering School of Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Full life design theory is based on the minimum full life cost, which takes into consideration the durability design, management and maintenance design, remove and reuse of structure, risk assessment and insurance strategy, and is aimed to make the bridge design safe, economic, durable and protective to environment. After analyzing the characteristics of cable stay systems, comparing the specification characteristics and the fabrication and erection methods between parallel steel wires cable system and strand cable stay system, based on the minimum full life cost of full life design theory, it is concluded that strand cable system is better than the parallel steel wire cable system. Strand cable system shall be used firstly in cable-stayed bridges.

**Key words:** full life design theory; parallel wire stay cable; strand stay cable; full life cost; preservation material

(责任编辑 刘宪福)