

双排钢板桩 在高边坡基坑支护中的数值分析

周建方¹,张木云²,郦华³,张峰¹,蔡煜¹

(1. 丹阳市水利局,江苏镇江 212300; 2. 丹阳市水利局延陵水利站,江苏镇江 212300;
3. 丹阳市水利局陵口水利站,江苏镇江 212300)

摘要:九曲河备用水源地达标建设工程肖梁河闸选用双排U型钢板桩进行基坑开挖时支护,保证河坡稳定。用Ansys数值模拟计算了管桩施工及开挖过程中边坡的应力应变,对基坑开挖的安全性和工艺的适用性进行了初步探讨。

关键词:基坑支护;钢板桩;数值模拟

中图分类号:TU46 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2022)11-0009-0004

Numerical analysis of double rows steel sheet piles in high-slope foundation pit support

ZHOU Jianfang¹, ZHANG Muyun², LI Hua³, ZHANG Feng¹, CAI Yu¹

(1. Danyang Water Resources Bureau, Zhenjiang 212300, China;

2. Yanling District, Danyang Water Resources Bureau, Zhenjiang 212300, China;

3. Lingkou District, Danyang Water Resources Bureau, Zhenjiang 212300, China)

Abstract: Double rows U-type steel sheet piles are adopted in the standard construction project of Jiuqu River backup water source Xiaoliang River gate, in order to ensure the stability of the river slope and to support the foundation pit excavation. Ansys numerical simulation is used to calculate the stress and strain of the slope during the construction and excavation of the pipe piles, and the safety of foundation pit excavation and the applicability of the process are preliminarily discussed.

Key words: foundation pit support; steel sheet pile; numerical simulation

肖梁河闸是丹阳市九曲河备用水源地达标建设项目先导性工程,是保护丹阳市饮用水源地、涵养生态的民生工程,社会意义意义重大。该项目东侧道路交通量大,河道边坡高陡,地质条件较差,基坑开挖难度较大,且汛期前水下施工必须完成,因此边坡基坑支护安全性和快捷性就显得尤为重要。基坑支护钢板桩型式采用SP-VI拉森钢板桩,在基坑东侧县道侧采用U型钢正反扣组成的连续钢板

墙作为基坑临时支护,也保证基坑不受地下水过度渗漏引起局部塌方,给基坑安全带来不利影响。

1 工程概况

肖梁河闸工程位于肖梁河北侧河口,距肖梁河与九曲河交汇处80 m的位置。新建闸站工程集拦水坝、水闸、泵站于一体,水闸和泵站布置于拦水坝东、西两侧。工程实施后,主要功能为控制肖梁河

收稿日期:2022-08-31

作者简介:周建方(1972—),男,高级工程师,硕士,主要从事岩土工程、建筑、水利建设、质量监督等工作。E-mail: 2496886649@qq.com

水流汇入九曲河对九曲河备用水源地水质产生不利影响,同时兼顾肖梁河的排涝、灌溉及引水需求。有利于九曲河一级水源地水质安全,提升工程区域内水环境,保障肖梁河沿线农田灌溉,保证丹阳地区备用水水源质量和饮水安全。

2 水文地质及地基处理方案

2.1 水文地质

九曲河、肖梁河属于湖西地区丹阳市境内骨干河道,均是受长江引排潮影响的感潮河段,正常水位在▽3.50 m左右(吴淞高程,下同),肖梁河与肖梁河口闸处构成河坡及基坑地质条件见表1。

表1 钢板桩穿入各土层物理力学参数

土层名称	压缩模量/ MPa	快剪强度		渗透系数/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	饱和容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	土层厚/m
		C/kPa	$\varphi/(\text{°})$			
杂填土①	2.9	12	19	2.31E-05	1.72	3.1
粉质黏土夹粉土②	8.7	10	20	5.88 E-05	1.89	3.0
淤泥质粉质黏土③-1	4.5	6	13	4.43 E-06	1.77	0.6
粉质黏土夹粉土③-2	9.0	10	18	5.60 E-05	1.86	4.2
淤泥质粉质黏土夹粉土④	5.0	7	13	5.00 E-06	1.88	14.2

一次河道疏浚后,河道再未实施过清淤工程。目前项目处淤塞严重,冬季枯水期河道中心水深甚至不足1 m。

考虑本项目地质水文情况,底板基础处理方式必须经基坑降排水才能有效实施,预制管桩和底板施工能否保证工程施工质量的关键在于降水是否到位,对地下水水位控制是否切实有效;同时也要注意避免过度降水短时间内增大各土层容重,引起道路地面不均匀沉降,对公路行车安全带来负面影响。因此,采用有效适合工程实地情况的降水组合方式是控制施工工期,确保工程实施成功与否的关键措施。基坑降水采用管井降水结合轻型井点的方式,具体方案为:闸站基坑四角布设4根管井,配合开挖基坑轻型井点进行基坑底部降水;同时沿基坑外沿河道上下游各设2排直径 $\varphi 300$ mm管井,管井深度18 m,间隔15 m布置,管井布置共计12根。

基坑支护处理及预制管桩施工工艺流程:填筑施工围堰→泥浆泵清淤→施工通道→履带式压桩机施工双排U型拉森钢板桩→基坑放样→布置轻型井点+管井降水组合排水系统→挖掘机基坑开挖至河道底部1.50 m高程(预留1 m左右预制管桩施工

2.2 工程地基处理方案

肖梁河口闸站底板底高程位于-0.40~0.30 m,闸站底板为20 m×24.4 m(长×宽),混凝土底板厚度70 cm。考虑到土层③-1、③-2压缩系数较大,导致软弱地基承载后变形量较大。因此,工程底板下地基处理采用PHC300(70)—AB—C80预制管桩。

3 基坑降水、预制管桩施工工艺

肖梁河河岸东侧县道路肩宽约为2~2.5 m,路肩边为水杉行道树,闸站工程所处河道由于主要为淤泥质黏土夹粉土类土质,土质状况较差。自20世纪90年代末丹阳市九曲河湖西引排一期工程进行过

保护层)→履带式管桩压机管桩施工→挖掘机开挖保护层土→混凝土垫层和预制管桩钢筋笼接头施工→绑扎底板钢筋→监理验收后浇筑底板混凝土。钢板桩型号采用SP-VI U型互扣后每延米惯性矩86 000 mm^4 ,截面模量3 820 mm^3 。

4 双排钢板桩稳定分析

4.1 钢板桩嵌固稳定性计算

4.1.1 单排桩嵌固稳定性计算

依据基坑支护规范,悬臂式单排桩嵌固稳定性计算公式为

$$\frac{E_{\text{pk}}Z_{\text{p}}}{E_{\text{ak}}Z_{\text{a}}} \geq K_{\text{m}} \quad (1)$$

式中: E_{pk} 、 E_{ak} 分别为基坑侧被动土压力、外侧主动土压力; Z_{p} 、 Z_{a} 分别为相对应力的力臂; K_{m} 为嵌固稳定系数,本基坑为二级基坑,安全系数为1.2。

为计算安全系数,以下部预制管桩施工时进行安全系数校核。基坑内侧桩后侧土高程▽3.50 m,计算得单排钢板桩嵌固稳定系数为1.25;基坑二次开挖后基坑内侧桩后侧土高程1.50 m,嵌固稳定系数为1.22,均满足要求。

4.1.2 双排桩嵌固稳定性计算

嵌固稳定性计算公式为

$$\frac{E_{pk}Z_p + GZ_c}{E_{ak}Z_a} \geq K_m \quad (2)$$

式中: G 为双桩间土重; Z_c 为相对应力的力臂。

依据基坑支护规范,双排桩嵌固深度,对淤泥质土不小于 $1.0h$ (h 为第一排桩顶至基坑面高差),淤泥不小于 $1.2h$,一般黏性土、粉土、砂土不小于 $0.6h$,本工程 $h=3.5\text{ m}$,双排桩嵌固深度分别为 8.5 m 、 5 m ,满足要求;双排桩间距一般为 $2d\sim 5d$ (d 为桩直径,本工程双扣钢板桩折算半径 0.45 m),取为 2.2 m ,满足要求。

考虑到双排钢板桩嵌固深度不同,为安全计,桩间土重计算以双排桩包围土体面积计算,土体底部以基坑外侧桩底为界,以下部分不计入。预制管桩施工时,基坑内侧桩后侧土高程 $\nabla 3.50\text{ m}$,计算得双排钢板桩嵌固稳定系数为 1.63 ;基坑二次开挖后基坑内侧桩后侧土高程 1.50 m ,嵌固稳定系数为 1.26 ,均满足要求。

4.2 支护桩数值模拟

目前支护桩计算方法主要有弹性地基梁法、等值梁法、有限元法等。弹性地基梁法局限在于土体相互作用及工程地质因素复杂,不能简单地用弹性力学分析来加以概括,弹性解析也未充分考虑土体的塑性变形,计算位移可能偏小,对基坑变形控制不利;等值梁法通过假定力矩平衡深度,对支护结构稳定进行计算,得出关于平衡深度的多次方程式,求解得到支护桩的平衡深度。入土段假想支撑点的确定是等值梁法一个重要的假定^[2]。支撑点到假想支撑点的这段梁视作简支梁来计算支撑点的反力及支护桩的内力、最大位移的计算,由于等值梁法没有考虑入土段结构位移的影响,因此该计算方法也有较大局限性,而且后期主动土压力不均匀荷载施加也是假想为均布荷载加入,对梁段应力应变计算也有较大影响。

4.2.1 单、双排桩计算模型

采用有限元法考虑桩、土体相互作用,基于弹塑性理论基础,用土弹簧模拟桩后土的塑性变形。同时钢板桩支护沿河向一般较长,简化为平面应变问题,将双排钢板桩对撑支护结构简易看成平面结构进行模拟分析。为对比桩设置后变形,分别对基坑采用单排桩支护、双排桩支护进行应力应变分析对比,单排桩顶高程考虑设置在 $\nabla 6.00\text{ m}$,双排桩顶高程分别设置为 $\nabla 3.50\text{ m}$ 、 $\nabla 7.00\text{ m}$ 。同时

为使计算结果偏于安全,桩后土宽度达 1.5 m 以上才考虑设置土弹簧,单、双排桩计算简图见图 2~3。

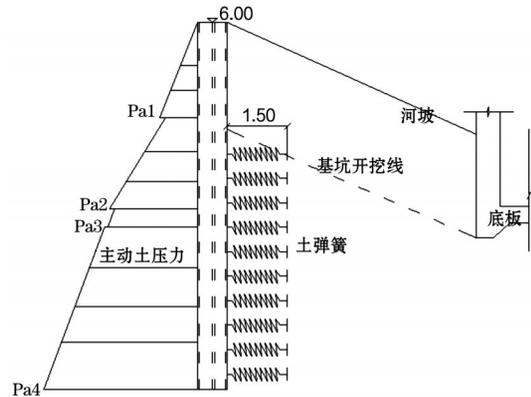


图 1 单排桩计算简图(单位:m)

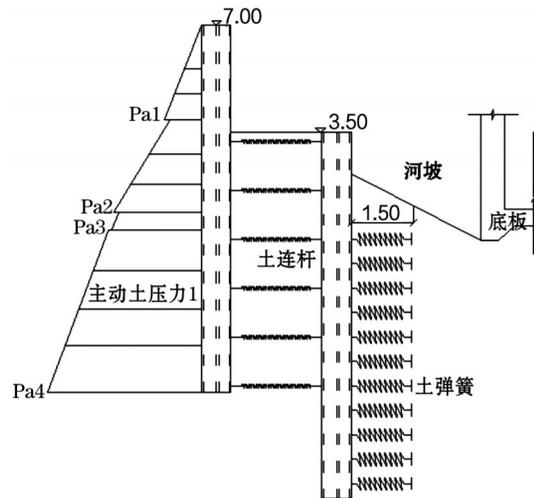


图 2 双排桩计算简图(单位:m)

支护桩水平位移是支护结构稳定性的一个重要参数,但由于桩、土体相互作用及工程地质因素复杂,为充分模拟现场情况,本项目采用 ANSYS 软件数值模拟法模拟基坑开挖后钢板桩位移及应力情况。

下排桩基坑侧受被动土压力侧土体的模拟用土弹簧采用 COMBIN14 单元模拟,土体弹簧系数根据土体物理力学参数,依据所在土层至开挖面高度决定。基坑内侧土弹簧系数 k_s 计算公式^[3]为

$$k_s = m(z-h) \quad (3)$$

式中: m 为土的水平反力系数的比例系数,软弱黏性土、粉土类系数为 $3\ 000\sim 5\ 000\text{ kN/m}^4$,本项目取值 $4\ 000\text{ kN/m}^4$; z 为计算点距地面深度; h 为计算工况下的基坑开挖深度。

钢板桩采用 ANSYS 软件 BEAM 单元进行模拟

分析,双排桩每间隔2 m用18号工字钢和围檩联接加强,实际工况中工字钢、围檩只考虑承受轴向压力,采用Link单元模拟。基坑外侧桩土压力采用主动土压力,主动土压力采用摩尔-库仑土压力公式进行计算,通过ANSYS中SFBEAM表面辅助荷载定义命令进行主动土压力分段不均匀荷载加载,最大程度模拟实际土压力作用情况,提高模型计算的真实性和精度。

4.2.2 钢板桩内力位移计算

为使计算模型结构和现实情况基坑开挖相吻合,在计算中,基侧内侧钢板桩底部采用水平滑动支座,基坑外侧下排钢板桩由于嵌固深度较大,水平位移不大,但为尽量模拟现场情况,底部也采用水平滑动支座。围檩、工字钢支撑与钢板桩连接采用耦合铰接方式,钢板桩桩间围檩、工字钢支撑与土体简化用细连杆来模拟桩间土的作用。经模型计算,在不同基坑深度计算桩水平位移结果见表2(双排桩仅计算实际情况);单排钢板桩数值模拟弯矩、剪力计算结果云图见图4(仅列基坑计算深度4 m情况),最大拉应力为 $75 \text{ MPa} < \text{允许拉应力} \sigma_c = 215 \text{ MPa}$;双排钢板桩数值模拟弯矩、剪力计算结果云图见图5。从数值模拟结果看,双排桩有效地分担了桩侧主动土压力,边坡变形控制相当理想,和实际情况基本相吻合,达到了施工期保证道路和基坑安全的目的。计算结果也进一步验证了双排钢板桩支护结构设计的可靠性和实用性。

表2 不同钢板桩水平位移数值计算

钢板桩	基坑计算深度/m	水平位移/mm
单排钢板桩	4	76.3
	6	73.5
双排钢板桩	4	—
	6	7.6

4.2.3 钢板桩水平位移监测

作为安全等级为二类的基坑,必须进行基坑水平位移和基坑侧道路沉降检测。道路侧水平位移及沉降观测,设置7个观测点,基坑位置设置3个,基坑外侧路边设置4个。基坑外侧4个观测点水平位移在工程实施前后,基本无水平位移。基坑位置3个观测点,最大水平位移12.3 mm,最大沉降位移为

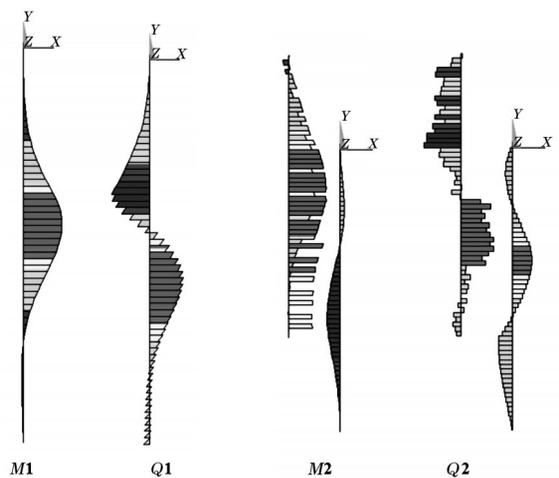


图4 单排桩弯矩、剪力云图 图5 双排桩弯矩、剪力云图

9.1 mm,满足二类基坑对水平位移和沉降的要求^[4]。经工程前后对比,基坑侧X201县道沥青路面基本无沉降和开裂现象。

5 结 语

(1)基于弹塑性理论的数值模拟法能较好地模拟桩土复合体间相互作用,能较好地模拟支护结构的整体作用机理,考虑了双排桩结构的整体位移协调。模型参数选取根据相似基坑支护工程应用论证后,可更好地模拟工程实际情况。

(2)双排钢板桩有效地解决了场地狭小、不阻断交通的难题,缩短施工工期,提高了高边坡深基坑的边坡稳定性;经数值分析,双排桩水平位移较单排桩明显减小,增加了基坑的稳定性,提高了桩基的嵌固稳定,另外施工中要严格按基坑监测相关规范进行位移监测。同时要加强汛期上部工程施工时河坡安全动态观测,确保工程整个施工期基坑支护稳定。

参考文献:

- [1] 薛朝阳,许荫椿.水力学[M].南京:河海大学出版社,1989:608-613.
- [2] 夏中磊.等值梁法基坑支护设计[J].建筑工程技术与设计,2017(19):879-881.
- [3] JGJ120—2012 建筑基坑支护技术规程[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2012.
- [4] GB50497—2019 建筑基坑工程监测技术规范[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2019.