

SMW 工法桩在城市泵闸深基坑工程中的应用

潘洋

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:以上海市横沥南泵闸基坑工程为背景,对比论述了SMW工法桩在河道泵闸基坑工程中的优势。主基坑范围内的支护结构沉降、位移监测数据均满足基坑的安全要求,水泥土抗渗性能优越,分析表明,该支护形式在上海地区淤泥质土层中有良好的适用性。

关键词:深基坑;SMW工法桩;围护

中图分类号:TV52

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)04-0184-05

1 项目背景

1.1 工程概况及地质情况

中横沥南泵闸工程位于上海市莘庄镇北横泾河道,项目基坑工程安全等级为二级,环境保护等级为二级。泵闸基坑呈条形,基坑顺水流方向长约187 m,垂直水流方向宽约44 m,基坑总面积约6 000 m²,场地整平后天然地面标高4.8 m。泵闸基坑挖深情况见表1,土层物理参数建议值见表2。

表1 基坑挖深一览表

| 建筑部位 | 坑底标高/m | 挖深/m |
|----------|-----------|------|
| 泵房(非廊道段) | -4.00 | 8.8 |
| 泵房(廊道段) | -6.3~-7.5 | 11.1 |
| 泵站进、出水池 | -3.85 | 8.65 |
| 闸室段 | -2.6 | 7.4 |
| 内河消力池 | -2.6 | 7.4 |
| 外河消力池 | -3.1 | 7.9 |
| 内外河海漫段 | -1.6 | 6.4 |

1.2 基坑支护方案对比分析

1.2.1 基坑施工条件

本工程位于上海市闵行区,处于城区位置,施工作业面受限,导致无法采用较为安全的放坡开挖的形式。根据地勘报告及现场所允许的条件,就钻孔灌注桩+止水帷幕、地下连续墙、SMW工法桩3种可行的施工方案进行探讨,比选要考虑多方面因素,如安全、质量、成本、进度等因素。

收稿日期:2023-03-16

作者简介:潘洋(1973—),男,博士,高级工程师,从事工程建设管理、防汛防台工作。

1.2.2 钻孔灌注桩配合止水帷幕的防渗支护结构

若采用钻孔灌注桩配合止水帷幕的防渗支护结构,止水帷幕一般采用高压旋喷桩向土体内注浆,对本基坑呈骨架结构的地层、已涌水的地基工程和地下水具有一定的侵蚀性冲刷作用,可能造成基坑两侧地面沉降、坑边隆起、内部串浆等不良影响。止水帷幕需根据现场试验结果确定其适用性和技术参数,施工质量受土层地质条件影响,较难控制,若后期有渗水情况修复较为困难。灌注桩虽然强度刚度都能满足围护结构要求但时间及经济成本较高,成孔速度慢,与地下连续墙相比,整体性欠缺。施工存在前后顺序,因此工效最低,工期最长。考虑到本工程的实际工期比较紧张,且为控制施工成本,故不采用该围护形式。

1.2.3 地下连续墙结构

地下连续墙针对本工程基坑施工适用性强,对基坑周边构筑物影响小,安全隐患小,适用于城市狭窄基坑工程施工。钢筋混凝土支护抗渗强,刚度大,能承受较大的侧向土压力。但上海市区废泥浆的处置较为困难、成本较高且用作临时的挡土结构比其它支护形式所用的费用要高很多,在本基坑工程中采用该方式会增加工程造价,基坑支护占总费用比例过大,故不采用该围护形式。

1.2.4 SMW工法桩支护结构

SMW工法桩施工时对邻近土体、道路及建筑等危害影响较小,该围护具有卓越的止水性、经济性、施工工期短等优点^[1],因此能较好的适应本工程地质情况。从成本方面来对比,该围护无废泥浆,置换出来的水泥土可用作基坑回填,该工法中型钢可以回收重复利用,型钢起拔回收技术直接关系到施工成本的一半

表2 土层物理参数建议值

| 层号 | 地层名称 | 层厚 /m | 比贯入阻力 P_s/MPa | 重度 $\gamma_0 /$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$) | 直剪固快峰值强度 | | 地基承载力特征值 建议值 f_{ak}/kPa | 压缩模量 建议值 E_s/MPa |
|------------------|------------|-------|---------------------------|--|------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| | | | | | C / kPa | $\varphi / (^\circ)$ | | |
| ② ₁ | 褐黄~灰黄色粉质黏土 | 1.5 | 0.90 | 18.5 | 22 | 17.4 | 90 | 4.56 |
| ② ₂ | 灰黄色粉质黏土 | 1.2 | 0.64 | 18.2 | 19 | 17.3 | 75 | 4.29 |
| ② ₃ | 灰色砂质粉土 | 1.7 | 3.23 | 18.7 | 5 | 29.9 | 100 | 10.36 |
| ③ | 灰色淤泥质粉质黏土 | 1.8 | 0.55 | 17.4 | 15 | 18.1 | 60 | 3.06 |
| ④ ₁ | 灰色淤泥质黏土 | 2.9 | 0.56 | 16.8 | 13 | 11.7 | 55 | 2.30 |
| ④ ₂ | 灰色砂质粉土 | 3 | 3.44 | 18.7 | 4 | 31.9 | 105 | 7.72 |
| ⑤ ₁₋₁ | 粉质黏土 | 5.8 | 0.82 | 17.8 | 17 | 17.1 | — | — |
| ⑤ ₁₋₂ | 粉质黏土 | 6.5 | 2.23 | 18 | 20 | 17.2 | — | 6 |

左右^[2]。

1.2.5 支护方案的确定

基坑区域土质以粉质黏土为主,含部分淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土,基坑施工范围内块石较少,考虑到本工程工期、造价、安全等因素,结合基坑设计的深度及等级,采用SMW工法桩作为本工程的基坑围护形式能较好的满足各项要求。

1.3 SMW工法基坑支护结构

1.3.1 SMW工法简介

SMW工法于20世纪80年代引入我国^[3]。该支护形式兼具基坑止水及支护的双重功能,施工进度、质量控制较为方便,在多种结构形式的基坑中得到了较好的应用,相比于常规支护结构优势较为明显,在上海、江苏、浙江、天津、北京等地区得到广泛应用^[4]。

1.3.2 SMW工法桩布置

本工程泵闸主体采用SMW工法桩围护墙进行围护,三轴搅拌桩桩径800mm间距600mm,围护桩之间采用套接一孔法施工。搅拌桩桩顶标高2.80m,桩底标高-22.20m。搅拌桩采用42.5级普通硅酸盐水泥,水灰比介于1.5~2.0之间,水泥掺入量不小于20%。主基坑围护桩内按设计要求插入长度25m的H型钢(Q235B),型钢规格为HN700mm×300mm×13mm×25mm,型钢顶高程3.3m,底高程-21.7m,主要采用插二跳一型布置,南北进出水池末段及泵房廊道段密插型钢。基坑底部土质较差故通过直径850mm三轴水泥搅拌桩裙边加固以减少支护结构位移,防止坑底土隆起量过大^[5]。基坑设置两道支撑体系,支撑中心标高分别为2.4m、-1.5m。第一道支撑采用钢筋混凝土支撑,支撑与冠梁(1200mm×800mm)整浇第二道支撑采用钢管支撑,腰梁采用钢

筋混凝土(1100mm×800mm)。第一道支撑体系垂直水流方向布置7根钢筋混凝土对撑,中间三根3根纵向钢筋混凝土支撑尺寸为1000mm×800mm,两侧4根纵向钢筋混凝土支撑尺寸为800mm×700mm。第二道支撑体系垂直水流方向布置道双拼609钢管支撑,钢管壁厚16mm。在顺水流方向布置子道型钢400mm×400mm×13mm×21mm纵向连梁,在支撑与纵向连梁相交处设置钢格构立柱共21根,以直径800mm钻孔灌注桩为基础,桩长20m。基坑围护平面及剖面示意图见图1、图2。

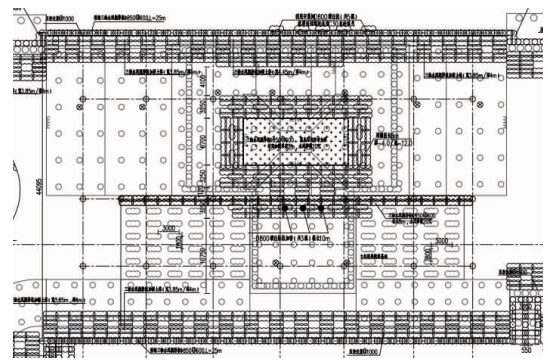


图1 主基坑平面示意图

2.2.3 施工技术要求

水泥土搅拌桩施工前至少通过2根成桩试验确定搅拌下沉及提升速度、水灰比等参数。本工程根据试桩确定下沉速度为0.6m/min,提升速度为1m/min,水灰比1.7。三轴搅拌桩成桩质量参照表3。在施工过程中通过流量计来全程监测水泥用量,确保符合要求。两幅桩的搭接施工间歇应不超过10~16h,若超时,则必须降低搅拌速度、升降速度以保证搭接质量。因设备故障等客观因素发生的冷缝,需采用不小于搅拌桩直径的高压旋喷桩进行衔接处理。

基坑开挖前按规范及设计要求通过钻取桩芯强度试验确定水泥土搅拌桩的桩身强度保证28d龄期

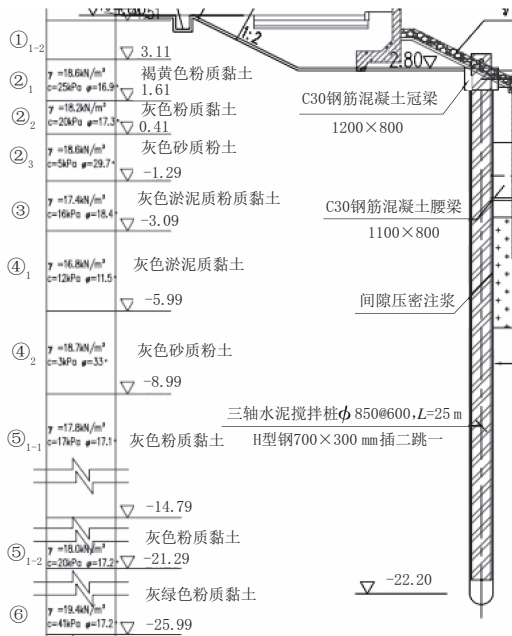


图2 基坑结构剖面示意图(单位:mm)

表3 三轴水泥土搅拌桩成桩质量参照表

| 序号 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 |
|----|---------|----------|
| 1 | 桩底标高/mm | +50 |
| 2 | 桩位/mm | ≤50 |
| 3 | 桩径/mm | ±10 |
| 4 | 桩体垂直度 | ≤1/200 |
| 5 | 施工间歇/h | <24 |

抗压强度不小于 0.6 MPa, 压水试验要保证渗透系数不大于 $n \times 10^{-6}$ cm/s ($n=1\sim 9$), 试验完成后注浆填充空隙。基坑开挖施工在搅拌桩强度合格的情况下进行。

本工程 H 型钢总长 25 m, 考虑到型钢运输的便捷性, 分为长度不等的两段。型钢焊接采用坡口焊等强焊接, 焊接接头位于型钢中下、中上部位, 接头相互错开大于 1 m。回收部分型钢应先涂刷 2 mm 专用减摩剂以利于后期的拔出回收, 为避免型钢与冠梁混凝土接触影响后续拔除, 在冠梁段的型钢包裹两层 10 mm 泡沫棉。每幅搅拌桩施工完成后及时插入 H 型钢, 合理控制插入速度, 以减少水平及竖向角度的偏差。插入型钢的质量标准参照表 4。

2.3 SMW 工法桩施工

2.3.1 测量放样

根据经复核并确认后的点位放出桩位轴线及桩位小样, 开挖后对桩位进行重新放样, 拉线标记桩位中心点, 桩位允许偏差 ± 5 mm。

2.3.2 沟槽开挖

沟槽开挖是 SMW 工法桩施工中比较重要的一

表4 插入型钢的质量检测标准

| 序号 | 检查项目 | 允许偏差或允许值 |
|----|------------------------|----------------------------|
| 1 | 型钢垂直度 | ≤1/200 |
| 2 | 型钢长度/mm | ±50 |
| 3 | 型钢底标高/mm | -30 |
| 4 | 型钢平面位置/mm | 50(平行于基坑方向) 10(垂直于基坑方向) |
| 5 | 形心转角 $\varphi/(\circ)$ | ≤3 |

步, 起到后续导向作用。开挖宽度约 1 m, 深度约 1.2 m。应该在桩机施工前完成开挖, 且及时清理施工过程中置换出来的弃土。

2.3.3 三轴搅拌桩施工

(1) 桩机就位: 三轴搅拌桩之间采用套接一孔法施工, 跳槽式双孔全套复搅式连接, 在施工过程中按照如下图所示顺序施工, 依次类推, 形成连续墙体, 见图 3。

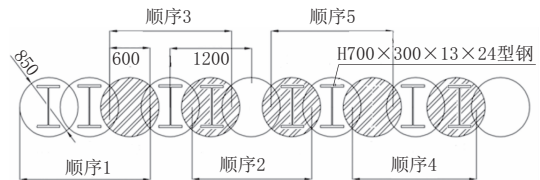


图3 跳槽式双孔全套复搅式连接顺序图(单位:mm)

步履钢板铺设应平整、相互贴合, 搅拌桩移到指定桩位、检查钻杆垂直度、钻头直径、桩位对中; 钻杆垂直度小于 1%, 桩位中心偏差小于 50 mm。

(2) 水泥浆制备: 水泥浆液应提前准备, 水泥浆采用 42.5 普通硅酸盐水泥, 水灰比为 1.7, 通过试验确定, 水泥浆要严格按预定的配合比拌制, 水泥浆拌合时间介于 5~10 min; 保证供需比例, 避免因浆液不足而断桩, 制备好的浆液不得离析, 不得停置时间过长, 超过 2 h 的浆液应降低标号使用, 并有专人负责管理、操作、记录。

(3) 搅拌喷浆: 本工程采用三轴搅拌桩施工, 两边钻杆喷浆, 中间钻杆喷气, 通过高压喷气, 可以将搅动后的土体进行充分搅拌。根据试桩确认参数, 严格控制下沉速度, 待搅拌至设计桩底标高后原地复搅 30 s, 匀速提升钻杆至设计桩顶标高后停止喷浆。整个施工过程匀速喷浆, 下沉(本工程 0.6 m/min)和提升速度(本工程 1.0 m/min)按照已确认参数严格控制, 避免速度过快影响桩身完整性, 导致桩体渗漏。

(4) 钻孔速度、深度控制: 施工前确定每转杆长度, 以原地面标高为基础, 根据搅拌桩顶标高, 在转杆旁的炮筒上等间距划分标高线, 根据转杆顶部所

处位置可实时监测速度及深度,相比常规的在钻杆上做标记,不易被水泥土覆盖遮挡。

(5)移机至下一幅桩位,并重新测量定位,重复以上施工步骤。

2.3.4 H型钢插入

(1)搅拌桩内插H型钢,主要采用插二跳一型布置,南北进出水池末段及泵房廊道段密插型钢。单根型钢焊接接头只有1处,错开距离大于1m,且型钢接头距离基坑底面大于2m。

(2)H型钢插入前应均匀涂刷减摩剂以便于后期顺利回收,减摩剂用量宜为 1 kg/m^2 ,厚度控制在1mm以上^[6],为顺利拔除施工时涂刷两遍厚度约2mm。

(3)H型钢应在对应搅拌桩施工完成后30min内插入,避免过久导致插入困难。

(4)H型钢施工前,在沟槽设置自限制位装置(见图4),限位装置四角边有定位杆,插入土层一定深度,以确保限位装置自身的稳固、水平,在此基础上可有效控制型钢插入的垂直度、转角及顶标高,通过限位器来确保H型钢插入质量。依靠H型钢的自重,H型钢沿型钢限位器慢慢匀速垂直插入水泥土搅拌桩内,在插入过程中,安排专人用经纬仪检查控制H型钢插入垂直度。



图4 自限制位器示意图及施工现场图

2.4 SMW工法桩施工质量控制

SMW工法桩质量控制主要包括三轴搅拌桩的成桩质量和H型钢插入质量两方面的内容。本工程通过自限制位器有效解决了型钢插入的角度、垂直度及标高问题。搅拌桩实际施工中要重点控制搅拌速度、注浆质量。

H型钢插入质量的好坏将直接影响围护桩的抗渗性、支护结构的安全性。一般施工中,通常通过简易的导向架,该装置精度差,很难较好的控制插入的垂直度、插入位置偏差较大且在钻杆下降或提升过程中必须保持均匀搅拌,保证钻杆转速合理,确保设计标高范围内水泥土搅拌充分。根据试桩确定了 0.6 m/min 的下转速度, 1 m/min 提升速度,下沉水泥用量占比70%~80%,提升水泥用量占比20%~30%,严禁随意调整转速及注浆压力。另一方面,不

仅要严格控制浆液质量还要控制注浆质量,施工过程中要严格控制注浆量及注浆桶余量,避免断浆,当无法避免时应停止施工,待浆液稳定喷出后重新钻进。

待强度满足要求后,随机取3根三轴搅拌桩检验渗透性能是否满足要求,具体数据见表5。

表5 渗透试验数据表

| 序号 | 桩号 | 试验段深度/m | 渗透系数 $k/(10^{-7}\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1})$ |
|----|--------|---------|--|
| 1 | WH-X13 | 4 | 4.27 |
| | | 8 | 3.83 |
| | | 12 | 3.83 |
| | | 16 | 3.83 |
| | | 20 | 4.26 |
| 2 | WH-X49 | 24 | 3.83 |
| | | 5 | 3.71 |
| | | 10 | 3.22 |
| | | 15 | 3.22 |
| | | 20 | 3.22 |
| 3 | WH-D36 | 24 | 3.83 |
| | | 5 | 3.71 |
| | | 10 | 3.22 |
| | | 15 | 3.22 |
| | | 20 | 3.22 |

由表5数据可知,抽取试验桩渗透系数均小于 $1\times 10^{-6}\text{ cm/s}$,渗透性能满足设计及规范要求,可见上述施工质量控制措施可有效保证成桩质量。

2.5 监测数据分析

为分析该支护结构的支护效果,对监测数据进行分析对比,选取了主基坑的两侧的各三个点位Q1~6进行分析,具体水平位移及竖向位移见图5、图6。

由竖向位移图可知,竖向位移整体上呈线型增大的趋势发展,在整个坑内施工阶段的竖向位移一直处于安全值以下。在土方开挖时存在增大趋势上下波动的情况,具体表现为在土方开挖时竖向位移相较于其他时段有明显的陡增现象,在开挖过后,位移又回落到开挖前的增长趋势。

由水平位移图可知,水平位移整体较小,呈线型增大趋势,远小于水平位移安全值,整体受干扰工况的变化情况与竖向位移相类似。

3 结论

本文讨论了SMW工法桩在水利工程中的应用,得出以下结论。

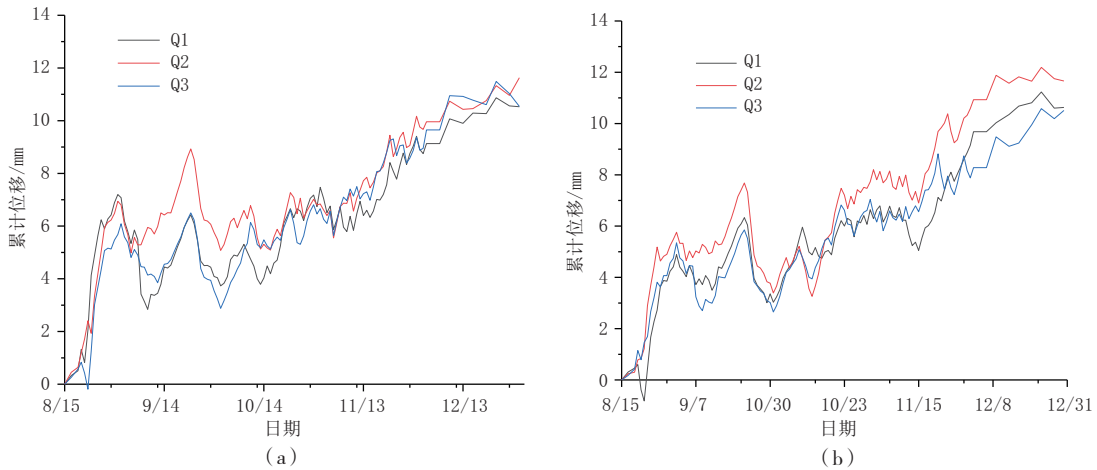


图5 主基坑冠梁两侧测点竖向位移图

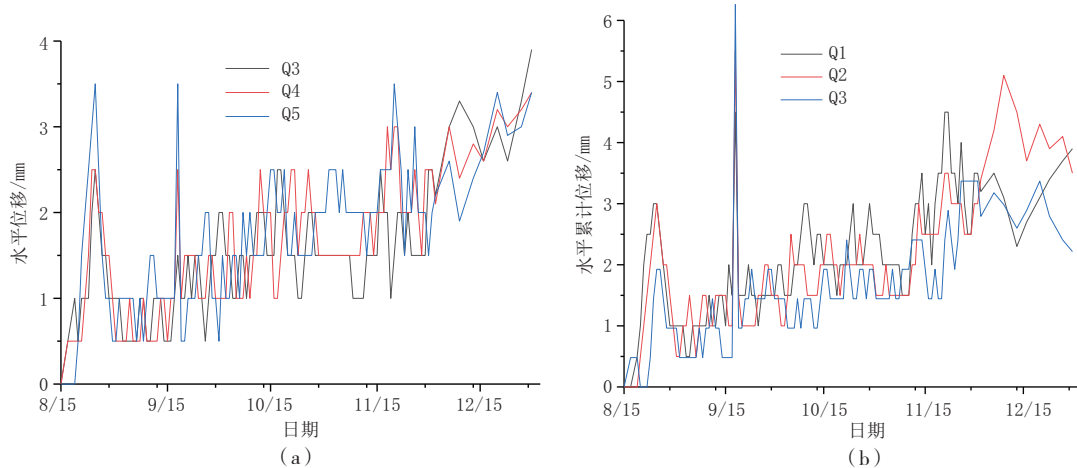


图6 主基坑冠梁两侧测点水平位移图(基坑内侧为正方向)

(1)SMW 工法桩支护形式能很好的适应泵闸工程基坑支护的要求,对周围的环境影响小,适用于城市狭窄河道基坑工程施工;

(2)钻孔灌注桩+止水帷幕、地下连续墙相比,SMW 工法桩在成本、质量、进度管控上优势明显;

(3)SMW 工法方案安全性较高,工法支护水平、竖向位移小,抗渗性能优越,适用于上海地区的淤泥质土层施工。

参考文献:

[1] 楼春晖,夏唐代,刘念武.软土地区基坑中 SMW 围护桩变形性状研究[J].岩土工程学报,2013,35(增刊2):1208-1211.
 [2] 施庆熙,张健儿,吕艳斌.SMW 工法在某工程基坑支护中的应用[J].施工技术,2012,41(13):28-31,35.
 [3] GJG/T 199—2010,型钢水泥土搅拌墙技术规程[S].
 [4] 陈强.SMW 工法在基坑支护中的应用与分析[D].天津:天津大学,2013.
 [5] 易丽丽.水泥土挡墙被动区加固研究[D].广州:华南理工大学,2012.
 [6] 李卫平,朱义龙,邓远见.SMW 工法桩施工技术[J].云南水力发电,2020(36):140-143.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com