

改进型 SMW 工法在九乡河闸站工程基坑中的应用

胡爱龙

(南京市水利建筑工程有限公司, 江苏 南京 210001)

摘要: 结合南京市九乡河闸站工程深基坑中“坑中坑”支护的工程实例, 介绍了利用高压旋喷桩替代深层搅拌桩成墙的改进型 SMW 工法对基坑的支护, 同时在水利工程中首次利用支护墙体作相关处理后替代建筑物混凝土临土侧模板。工程实践表明, 该方法避免了建筑物基础周边的土方开挖与回填, 有效防止因回填土体的沉降而引起土方与混凝土接触面的脱空, 以较低的成本在工程质量和施工进度方面取得了较好的效果, 给类似工程的基坑支护提供了新的思路和技术参考。

关键词: SMW 工法; 高压旋喷桩; 基坑支护; 模板

中图分类号: TV52 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 10-0063-05

The improved SMW construction method applied in the foundation pit engineering of Jiuxiang River Gate Station

HU Ai'long

(Nanjing Water Conservancy Construction Co., Ltd., Nanjing 210001, Jiangsu)

Abstract: Combined with the project of “pit in pit” support in deep foundation pit of Jiuxiang River Gate Station in Nanjing City, the improved SMW construction method which replaced deep mixing pile by high pressure jet grouting pile was introduced. Meanwhile, the building concrete soil side template is replaced with the supporting wall for related treatment in the water conservancy project for the first time. The engineering practice showed that this method could avoid earth excavation and backfilling around the building base, effectively prevent subsidence caused by backfill earthwork and concrete contact surface void, and achieve good results in engineering quality and construction progress with low cost, which could provide new ideas and technical reference for similar foundation pit support engineering.

Key words: SMW construction method; high pressure jet grouting pile; foundation pit support; template

1 概述

近年来, 随着中国经济的飞速发展及城市化进程加快, 城市土地更为紧缺, 工程建设根据现场工况采用创新型基坑支护越来越普遍, 基坑开

发问题越来越向更大、更深、更复杂的方向发展, 对支护的设计、施工以及检测等都提出更高要求。南京市九乡河闸站工程采用闸站结合型式, 节制闸、泵站、检修房、设备房、管理房等集中布置在九乡河河道中。各建筑物底高程各有不同, 集中在

收稿日期: 2017-07-24

作者简介: 胡爱龙 (1980-), 本科, 工程师, 主要从事水利工程建筑工作。

高程 $-3.2 \sim 3.4$ m (吴淞高程, 下同), 其中泵室底高程为 -3.2 m, 东侧相邻节制闸底高程为 1.0 m (不包括齿坎), 西侧相邻检修房底高程为 1.5 m, 最大高差为 4.7 m。基坑顶土方高程在 12.0 m, 与基坑中最低高程高差较大, 且泵站部位存在“坑中坑”, 给施工带来很大难度。如果采用水利工程中典型的放坡开挖、由低至高的施工方法工期较长, 且建筑物基础回填土极易沉降造成脱空影响工程质量。该工程中巧妙应用了改进型 SMW 工法对“坑中坑”高低差部位进行支护, 同时利用支护墙体作了相应的处理后替代建筑物混凝土临土侧模板, 使节制闸、泵站、检修房同步施工取得成功。支护断面见图 1。

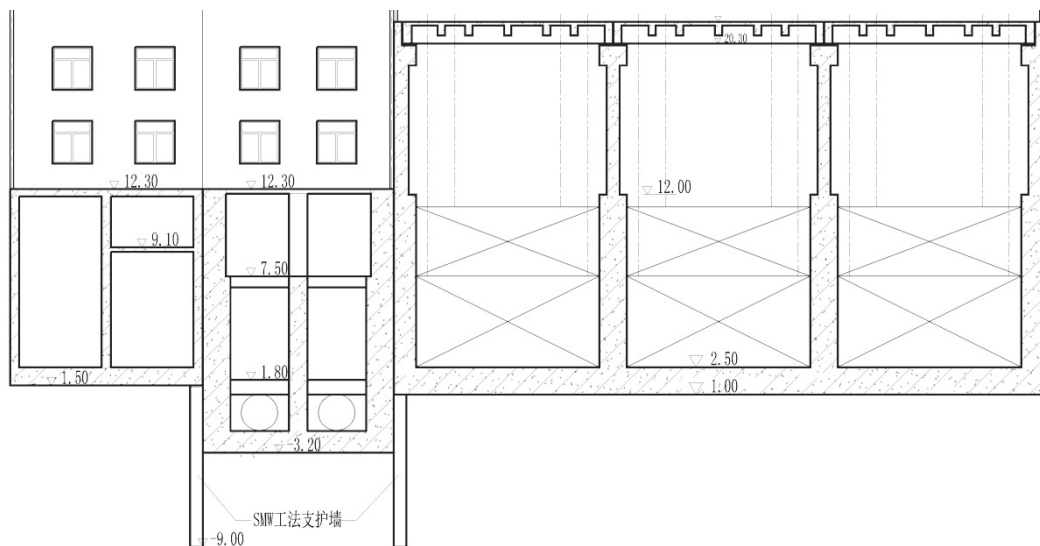


图 1 支护部位断面示意图 (单位: m)

常规 SMW 工法一般是利用水泥搅拌桩钻机进行连续墙的施工, 在九乡河闸站工程基坑处理中, 对该工法适当改进, 采用二重管高压旋喷桩钻机代替深层搅拌桩钻机成桩成墙, 改进原因为: ①泵站及节制闸底截渗墙围封已经施工完成, 水泥搅拌桩解决不了支护墙与围封之间的连接处理; ②泵站基坑场地狭小, 水泥搅拌桩钻机体型较大无法就位; ③工程地质复杂, 有孤石, 高程 $-5.9 \sim -16.6$ m 粉土质砂层力学强度较高, 水泥搅拌桩钻机钻进困难, 进度较慢。该改进型 SMW 工法采用履带式旋喷钻机成桩成墙, 该钻机体积较小, 行进灵活, 对地质情况的适应性较强, 且高压旋喷桩解决了支护墙与截渗墙围封之间的连接处理^[1], 成桩成墙止水效果也较水泥搅拌桩好。

2 支护方案比选

2.1 工程地质

根据工程地质报告, “坑中坑”部位的基坑支护主要涉及土层有③₁淤泥质重粉质壤土, 高程约为 $-5.9 \sim +4.0$ m, 该层力学强度低, 工程性质差; ④₃粉土质砂(中密), 高程约为 $-16.6 \sim -5.9$ m, 该层力学强度较高, 工程性质一般。

2.2 方案比选

工程中节制闸、泵站、检修房紧临, 基础相邻最大高差 4.7 m, 泵站最低, 采用放坡开挖、由低至高的施工方法, 泵站、节制闸、检修房不能同步施工, 工期较长, 且节制闸、检修房底板下回填土

方达到 4 m 多高, 极易沉降造成底板下脱空而影响工程质量。

采用适当支护结构对泵站基坑进行支护, 同时利用支护墙体作为泵站混凝土临土侧的模板使用, 避免了泵站两侧节制闸、检修房基础下的土方开挖和回填, 使泵站、节制闸、检修房可以同步施工。根据工程概况, 支护高程位于 $-3.2 \sim 1.5$ m, 均在长江常水位以下, 所以支护结构需同时具有挡土与防渗两种功能。根据九乡河闸站工程情况及地质条件, 参考了多个工程基坑支护的实例^[2-3], 初步提出 3 个方案: ①灌注桩结合高压旋喷截渗组合支护; ②拉森钢板桩支护; ③改进型 SMW 工法支护。将 3 种支护方案以及放坡开挖法的施工方案进行比选, 分析了各方案造价、工期、替代模板

处理简易度, 结果见表 1。

根据比选, 方案 1 造价较高, 工期较长, 基本可以排除。方案 2 打桩工期较短, 但钢板桩造

浆压力为 25 MPa, 流量为 35L/min, 提升速度为 15cm/min, 旋喷转速为 15r/min 等参数。

3.2.2 成桩成墙施工

表 1 方案比选

序号	方案	具体方案	造价	工期	替代模板方案
1	灌注桩支护结合高压旋喷截渗	灌注桩: 桩径 $\phi 800$ mm, 中心距 1000 mm, 桩长 14.5m, 强度 C30, 配筋 50 kg/m; 桩间高压旋喷截渗: 桩径 $\phi 500$ mm, 桩长 5.7 m, 水泥掺量 150 kg/m; C30 冠梁 800 mm \times 800 mm 配筋 50 kg/m。	85 万元	63 d	复杂
2	拉森钢板桩支护	桩型 CRP-U-1247, 公称宽度为 450 mm, 单根 64.9 kg/m; 桩长 9.5 m; 有支撑结构, 开挖后挂壁处理。	81 万元	36 d	较复杂
3	改进型 SMW 工法支护	旋喷桩: 桩径 $\phi 700$ mm, 中心距 500 mm, 桩长 10.5 m, 水泥掺量 220 kg/m, 插入 Q235 工字钢 I32a, 桩长 9.5 m, 间距 1000 mm。有支撑结构。	45 万元	31 d	简单
4	原设计放坡开挖	泵站土方开挖 \rightarrow 泵站施工至 1.8 m (流道层标高) \rightarrow 1 : 9 水泥土回填 \rightarrow 截渗墙围封 / 灌注桩施工 \rightarrow 开始节制闸的施工。	35 万元	60 d	回填土易沉降脱空

价较高, 替代泵站混凝土接触面模板的处理方案较复杂, 占用工期较长。方案 3 在 3 个支护方案中造价相对较低、工期较短, 替代泵站混凝土临土面模板的处理较易, 在工程质量、进度及成本控制方面有较明显的优势。最终选择采用改进型 SMW 工法对泵站部位基坑进行支护。

3 改进型 SMW 工法的实施

3.1 设计

改进型 SMW 工法支护设计采用《北京埋正深基坑支护结构设计软件 F-SPW》7.0 版, 按照《建筑基坑支护技术规范》(JGJ120-2012) 中的有关内容进行设计计算。采用增量法内力计算方法, 基坑等级取二级, 基坑深度取 4.7 m, 按照单支点结构计算出支护中 H 型钢嵌固深度为 4.8 m, 水泥桩体嵌固深度为 5.8 m。在支护顶部设置围檩支撑体系, 支撑间距为 6 m。

设计桩体采用高压旋喷桩, 喷射方式为浆液、空气喷射式, 高压水泥浆压力不小于 20 MPa; 桩径不小于 700 mm, 桩中心距为 500 mm; 桩体设计要求水泥掺入量不小于 40%, 28d 强度不小于 1.0 MPa; 插入型钢采用 Q235 普通工字钢 I32a, 间距为 1 m, 即在旋喷桩中隔一插一。

3.2 施工

3.2.1 工艺试验

施工前进行高压旋喷桩的工艺试验, 确定水泥浆液水灰比为 1 : 1, 气压为 0.7 MPa, 高压水泥

施工工艺流程为: 测量放线 \rightarrow 桩机就位 \rightarrow 钻机造孔 \rightarrow 搅拌制浆 \rightarrow 喷射注浆 \rightarrow 旋喷提升 \rightarrow 成桩成墙 \rightarrow 插入 I32a 工字钢。

施工采用自行履带式二重管高压旋喷桩机进行施工, 水泥连续墙中桩体依序连续施工, 为保证成桩直径不小于 700 mm, 控制水泥浆喷浆压力不小于 25 MPa, 输浆管长度不大于 50 m。

钻进④₃粉土质砂层过程中, 为防止塌孔采用泥浆护壁, 黏土泥浆容重一般为 1.1 ~ 1.25g/cm³。终孔深度大于设计深度 0.5 m, 孔斜率不大于 1%。高压喷射注浆开喷后, 待水泥浆液返出孔口后, 开始提升。喷射注浆达到设计高程后, 即可停气, 继续使用注浆泵注浆, 待水泥浆在孔口返出后, 即可停止注浆。喷射注浆作业后, 由于浆液的析水作用, 一般均有不同程度的收缩, 使固结体顶部出现凹穴, 及时用水灰比为 0.6 的水泥浆补灌, 直到饱满、孔口浆面不再下沉为止。

旋喷桩中心距为 500 mm, I32a 工字钢间距为 1000 mm, 即工字钢在各旋喷桩中采用隔一插一的插法。需插工字钢的旋喷桩体, 必须在桩体水泥浆初凝前插入 I32a 工字钢。为确保工字钢的水平位置及垂直度, 现场采用液压振动锤打拔桩机进行工字钢的打插, 插入工字钢前在 SMW 墙体两侧安放定位型钢和工字钢定位卡, 固定插入工字钢的平面位置, 然后将工字钢底部中心对正桩位中心并沿定位卡徐徐垂直插入 SMW 墙体内。

3.2.3 围檩支撑施工

改进型 SMW 工法墙体施工结束后进行围檩

支撑施工。内支撑使用 $\phi 610 \times 10$ 钢管支撑。在内支撑钢管的一端设置了预应力施加活动头。为扩散内支撑钢管应力,在支护墙体上设置钢围檩。围檩使用 $H500 \times 300 \times 11 \times 18$ 型钢焊接的钢围檩,钢围檩安装方法采用在改进型 SMW 墙体外的工字钢上焊接牛腿。钢围檩和支撑安装完毕后,钢支撑预加轴力为 10 kN,预压力分级施加,加至设计值时,待额定压力稳定后锁定。

支护围檩支撑的拆除在泵站底板(顶标高 -1.0 m)浇筑完成、节制闸底板浇筑完成且混凝土强度达到 20 MPa 以上时进行。

3.3 工程质量

基坑开挖后对改进型 SMW 工法墙进行检查,发现墙体外观质量较好,无蜂窝、孔洞,桩与桩之间的搭接、墙厚均满足设计要求,墙体无渗漏、冒潮现象。对墙体进行了取芯检测,经检测芯样 28 d 强度为 1.62 MPa,大于设计强度。有研究表明^[4],水泥土强度随龄期增长而增长,淤泥质黏土在 28 d 后强度仍有增长,粉细砂水泥土在最佳水泥掺入比时 28 d 后强度增长明显,90 d 时强度增长基本完成。

基坑开挖及构筑物施工期间派专人进行巡视检查,检查发现墙后土体无沉陷、裂缝、滑移现象,基坑内无涌土、流沙、管涌现象,支护墙体无渗漏、冒潮现象,地表水、地下水疏排正常;同时,在沿支护桩顶面外侧每隔 8m 设 1 测斜管,测斜管深度为 10 m,检测支护墙体后侧土体的位移变化情况^[5]。经检测,累计最大水平位移为 3.05 mm,符合相应规范要求。

根据检查情况及检测数据分析,改进型 SMW 工法支护工程质量良好,承载能力和止水情况符合设计要求。该支护结构直至使用期满均处于安全状态,达到设计预期目标。

4 改进型 SMW 工法在应用中的特殊处理

4.1 与泵站混凝土接触面的处理

改进型 SMW 工法墙需作为泵站混凝土临土侧 $-3.2 \sim 1.5$ m 标高处模板使用。支护结构施工完毕后,待水泥拌和墙体强度达到一定强度后进行土方开挖施工。由于支撑体系影响泵站基坑整体开挖,开挖时现场采用了长臂挖机座于基坑东

西两侧进行分阶段土方开挖。改进型 SMW 工法墙体 30 cm 范围采取人工开挖,人工修面铲平。

由于开挖前支护墙未暴露空气中充分氧化,刚开挖时桩体强度不高,较易进行人工修面铲平。每次开挖控制在 1 m 高度范围内,待人工修面后再进行下部分开挖,开挖部分需在 12 h 内完成修面,否则支护墙体在空气中暴露时间过长而强度增高,增加人工修面难度,影响修面的平整度。

为保证支护墙体平整度、基坑净宽等精度,开挖时每面墙体采用 1 台全站仪跟踪测量放线,及时指导工人开挖和修面,保证开挖面的垂直、平整、尺寸偏差均符合规范要求。

对于注浆时局部部位浆液比较集中区、强度较大区域,人工修面难度较大,现场采用电镐破碎配合手持磨光机磨面;遇到有孤石或其它障碍物部位,利用机械清除后视孔隙大小采用 1 : 2.5 水泥砂浆或细石混凝土修面,保证与泵站混凝土接触面的平整度。

4.2 接触面截渗的处理

改进型 SMW 工法施工完成后,泵站在 $-3.2 \sim 1.5$ m 高程处采用支护墙体作为混凝土临土侧模板。为防止混凝土浇筑完成后,混凝土收缩或建筑物的沉降,造成接触面混凝土与支护墙体脱离,形成渗流通道。

处理方法为:进行改进型 SMW 工法墙施工时,在每面墙体中插入 2 根 I32a 工字钢,其中一面紧抵接触面。基坑开挖后将该 2 根工字钢外侧水泥搅拌土体清理干净,然后在 2 根工字钢上由底到顶各焊接 1 片宽 100 mm、厚 0.8 mm 的不锈钢板。在泵站混凝土浇筑前,用混凝土制作的油槽固定在钢板外侧,然后在油槽内灌注 30# 沥青形成沥青井柱。详见图 2。

4.3 固定泵站混凝土内模的处理

进行泵室混凝土施工时,改进型 SMW 工法墙替代了泵站混凝土临土侧模板,但泵室内混凝土的面模仅采用内支撑容易跑模变形。为形成整体的稳定体系,需在支护墙体中植入钢筋以做对拉螺杆使用。详见图 3。

施工前在 I32a 工字钢临混凝土面上焊接一定数量的 L 型 $\Phi 14$ 钢筋头,间距 60 cm,钢筋凸出支护墙与混凝土的接触面 15 cm,以便于焊接、固定对拉螺杆。改进型 SMW 工法施工时,控制好插入工字钢的位置及垂直度,保证了墙体的质量,

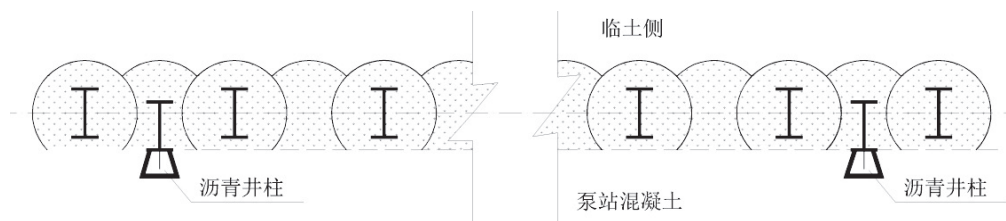


图 2 接触面截渗平面示意图

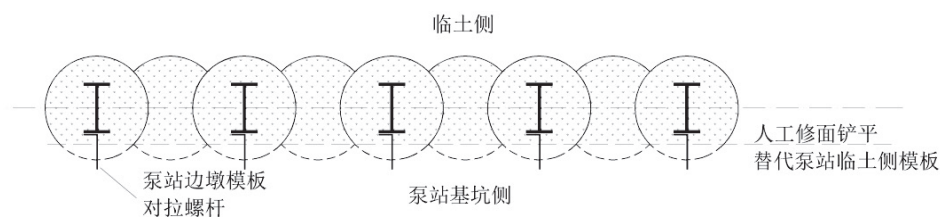


图 3 模板对拉螺杆固定点平面示意图

同时保证了对拉螺杆焊接钢筋的位置, 有效解决了泵室内混凝土模板的对拉固定问题。

4.4 与截渗墙围封的处理

采用高压旋喷桩成墙, 改进型 SMW 工法墙与节制闸、泵站地基中已经施工完毕的截渗墙之间的接触面的连接处理比较简单。施工改进型 SMW 工法时, 在与截渗墙接触面加插一根高压旋喷桩, 分别与截渗墙和支护墙搭接, 形成封闭体系即可。

5 结论

(1) 结合工程实际, 采用高压旋喷桩替换多轴水泥搅拌桩的改进型 SMW 工法在淤泥质重粉质壤土层及粉土质砂(中密)层交错的复杂地质条件下进行基坑支护是可行的, 成桩质量、成墙连续性、均匀性和止水效果均较好。

(2) 在水利工程基坑支护中首次采用改进型 SMW 工法墙体替代混凝土临土侧模板取得成功,

避免了水工构筑物基础的土方开挖和回填, 有效预防了回填土沉降而引起的脱空, 提高了工程质量和防渗效果, 对同类水利工程中相邻构筑物基础高低差部位的技术处理提供了参考。

参考文献:

- [1] 董小卓, 赵一哈, 张义军, 等. 三汊湾船闸加固改造设计[J]. 水利水电技术, 2014(4): 80-83.
- [2] 梅英宝, 范庆国, 胡玉银. SMW 工法在软土地区的应用[J]. 施工技术, 2006(7): 33-35.
- [3] 焦挺, 金承良. 软土地区多种支护形式综合应用施工技术[J]. 建筑技术, 2017(3): 269-270.
- [4] 郑仲园, 何春保, 曾祥月, 等. 广东江河冲积地质 SMW 工法桩水泥土强度试验研究[J]. 施工技术, 2017(8): 41-45.
- [5] 李爱地, 李成勋, 董莹. 淤泥质软土深基坑 SMW 工法桩围护结构施工技术研究[J]. 现代隧道技术, 2014(5): 180-183.

(责任编辑: 王宏伟)