

# 浅析三轴搅拌桩设备在九圩港提水泵站 防渗墙中的应用

徐光华<sup>1</sup>, 杨远洲<sup>2</sup>, 刘佳蕾<sup>1</sup>, 李万超<sup>1</sup>

(1. 江苏省苏水工程建设监理有限公司, 江苏 扬州 225009;  
2. 江苏省水利建设工程有限公司, 江苏 扬州 225003)

**摘要:** 本文通过三轴搅拌桩设备在九圩港提水泵站防渗墙中的应用, 介绍了 ZKD65-3B 型三轴深层搅拌桩的成墙原理、施工工艺、防渗墙技术等, 并通过探坑检测、钻芯检测技术对墙体进行检测, 结果表明: 墙体搅拌均匀, 搭接连续、平顺, 水泥浆液与土体胶结较好, 水泥搅拌桩桩身完整性、均匀性良好, 桩身有效强度满足设计要求。三轴深层搅拌桩具有搅拌叶片多、动力大、施工速度快、操作简捷等优点, 适用于不同地质条件的深层搅拌桩防(截)渗墙施工和提高软基承载力加固处理。

**关键词:** 三轴深层搅拌; 提水泵站; 水泥土防渗墙

**中图分类号:** TV523      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839(2016)07-0010-05

## Initial analysis on the application of three axis mixing pile equipment in the impervious wall construction of Jiuweigang pumping station

XU Guanghua<sup>1</sup>, YANG Yuanzhou<sup>2</sup>, LIU Jialei<sup>1</sup>, LI Wanchao<sup>1</sup>

( 1. Jiangsu Sushui Engineering Construction Supervision Co., Ltd., Yangzhou 225009, Jiangsu;  
2. Jiangsu Water Conservancy Construction Project Co., Ltd., Yangzhou 225003, Jiangsu )

**Abstract:** Through the application of three axial mixing pile equipment in impervious wall construction of Jiuweigang pumping station, the wall forming principle, construction technology and impervious wall technology of ZKD65-3B type three axial deep mixing pile is introduced. The wall is detected by the technology of pitting detection and drilling core detection. The results show that: the wall is smooth and mixed well, the body integrity and uniformity of cement mixing pile is good, pile strength could meet the design requirements. The three axial deep mixing piles have the advantages of enough mixing blade, big power, fast construction speed and simple operation. The three axial deep mixing piles could be used in different geological conditions of deep mixing pile impervious wall construction and improve the bearing capacity of soft soil foundation reinforcement.

**Key words:** three axis deep mixing; pumping station; cement soil impervious wall

## 1 工程概况

南通市九圩港提水泵站工程位于通州区平潮镇、九圩港闸西侧, 距长江 1.3 km, 工程等级为 II

等, 泵站规模为大(2)型, 工程防洪标准为 100 年一遇洪(潮)水位设计, 300 年一遇洪(潮)水位校核。泵站设计流量 150 m<sup>3</sup>/s, 安装 5 台套竖井式贯流泵机组, 单机流量 30 m<sup>3</sup>/s, 单套电机功率 1250

收稿日期: 2016-06-07

作者简介: 徐光华(1951-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事水利工程设计与监理工作。

kw, 水泵叶轮直径 3.25 m, 其主要任务: 在九圩港闸自流引江不能满足区域用水时, 利用九圩港提水泵站抽水, 以满足南通市通南地区、沿海开发区的用水需要, 并相机向东台堤东灌区供水; 其次兼顾南通城区环境和航道用水, 以增加城区水源及水体流动性, 并维持内河通航所需水位。

施工设计在主泵房基底四周及上游第 1 ~ 3 节翼墙和下游所有翼墙、挡墙底板下, 均布设了双排套打的直径 60 cm 深层水泥搅拌桩防渗墙。

2 工程地质情况

依据九圩港提水泵站岩土工程勘察报告, 站址钻探深度范围内所揭示的地层均为第四纪松散沉积物, 按成因类型、土质特征揭示得地层可分为 10 层, 建筑物底板位于②、③层上, 主体站身坐落在③层土上。对①、②、③层砂土进行室内垂直渗透试验, 平均渗透系数均为  $K=A \times 10^{-3}$  cm/s, 具有中等透水性, 主要土层土性参数见表 1<sup>[1]</sup>。因此, 处理好基坑安全开挖与工程建成后防渗安全, 是泵站工程建设中的首要环节, 也是重中之重。

3 防渗设计

为了九圩港提水泵站工程深基坑截渗、降水的安全开挖, 为了九圩港提水泵站基础底板降低前后水力联系与渗透系数, 施工图设计分别对深基坑开挖前左右侧, 采用了液压抓斗成槽浇 35 cm

厚的 C20 塑性混凝土截渗芯墙, 左侧芯墙长 300 m (从高程 4.0 m ~ -29.0 m, 废黄河基准, 下同), 深入到相对不透水层的④层土内, 右侧芯墙长 225 m (从高程 3.0 m ~ -20.0 m); 对深基坑开挖前上下游各长 139 m, 则采用了“两搅两喷”直径 45 cm 的多头小直径水泥搅拌桩截渗墙体, 上游截渗墙体从高程 -1.0 m ~ -18.0 m, 下游截渗墙体从高程 -2.0 m ~ -18.0 m; 泵站底板下及翼墙、挡墙底板下, 均采用“四搅两喷”双排套打直径 60 cm 与间隔 50 cm 的深层水泥搅拌桩防渗墙。水泥搅拌桩的墙体无侧翼抗压强度不小于 1.0 MPa, 渗透系数不大于  $A \times 10^{-6}$  cm/s, 水泥渗入量不少于 15%。

本文针对现场土层硬软变化及主体工程进度要求, 以引用新设备<sup>[2]</sup>ZKD65-3B 型三轴搅拌双排套打同直径“两搅两喷”双排套打  $\phi$  60 cm 深层水泥搅拌桩防渗墙施工工艺, 置换设计的“四搅两喷”双排套打  $\phi$  60 cm 深层水泥搅拌桩防渗墙的应用。

4 三轴搅拌桩成墙原理与施工工艺

4.1 成墙原理

ZKD65-3B 型三轴搅拌套打防渗墙采用 P.O42.5 级普通硅酸盐水泥作为固化剂, 按设计掺量 15% (占天然土的湿密度百分比), 利用移动支撑机上的三支点, 垂直立杆导杆上安装驱动设备、钻杆、钻头于一体的三轴头搅拌桩机, 在松软或紧密 ( $N \geq 40$

表 1 主要土性参数

序号	土层高程 m ~ m	土层标贯 $N$ (击)	含水率 $W$ (%)	湿密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	土分类 (SL265- 2001)	凝聚力 $C_g$ (KPa)	摩擦角 $\phi_g$ (度)	渗透系数 $KV$ (cm/s)
A	8.42 ~ 0.58	8	25.6	1.94	重粉质壤土	20.3	13.5	1.06E-05
B	8.32 ~ 0.25	9	24.1	1.86	含少量砾轻粉壤土	6.6	24.8	1.63E-05
①	4.84 ~ -3.74	10	29.0	1.88	粉土	5.4	24.5	2.60E-03
①'	3.5 ~ -0.2		39.3	1.86	粉质粘土	12.8	5.2	
②	2.95 ~ -13.2	17	25.6	1.94	粉砂	6.0	26.2	2.43E-03
③	-5.27 ~ -28.82	26	25.5	1.94	轻砂壤土	5.6	26.6	5.68E-03
④	-26.26 ~ -48.09	16	31.9	1.86	中粉质砂壤土	12.5	12.4	4.07E-06
④'	-27.98 ~ -37.52	38	26.6	1.87	重粉质砂壤土	83.1	24.8	
⑤	-39.44 ~ -53.06	30	25.0	1.96	轻砂壤土	2.5	26.1	2.05E-02
⑥	-40.38 ~ -53.73	51	22.1	1.96	粉砂	3.7	30.9	3.30E-02

击)地层中边转进边喷气、喷射水泥浆,其中二头喷浆、一头喷气,间隔排列(即:浆、气、浆),通过钻头旋转强制搅拌,使土体与水泥浆初步的混合;送气管送气的同时也对土体进行搅拌,经过气体的升扬置换作用,让土体与水泥浆更加充分的搅拌。水泥水化反应生成水化物,水化物胶结并与颗粒发生粒子交换,由粒化作用以及硬凝反映形成一定的抗压强度,从而形成具有整体性和抗水性的桩柱体。将这些桩柱体套打搭接排成一列,形成连续墙体,用以提高地基防渗或承载能力,达到加固工程的目的<sup>[3]</sup>。钻机的主要性能参数如表 2。

表 2 钻机主要性能参数

名称	型号、标量
转机型号	ZKD65-3B
转机直径 (mm)	φ 650 (本工程为 φ 600)
钻孔头数	3
钻杆中心距 (mm)	450 × 450
钻孔最大深度 (m)	30
钻杆转速 (r/min)	17.6
钻杆直径 (mm)	φ 219
钻杆基本长度 (m)	3、6、8
钻杆平均扭矩 (KN/m)	20.2
钻杆最大扭矩 (KN/m)	60.6
主机动力 (KW)	110 (55 KW × 2)
导轨中心距钻杆 (mm)	800
导轨中心距滑轮中心 (mm)	655 (可据用户定制)
导轨中心距 × 导轨直径 (mm)	600 × φ 102
滑轮直径 (mm) × 钢钎绳直径 (mm) × 滑轮个数	φ 340 × φ 20 × 6
配套桩架	BZ70全液压步履打桩机
配用浆、气管内径 (mm)	25

4.2 施工工艺

- (1) 施工工艺流程见图 1。
- (2) 试桩确定实施参数。为了取得三轴深层搅拌桩最佳施工参数,工程开工前监理会同施工

相关方在现场进行工艺试桩。试桩桩号为 11# 幅、12# 幅及 13# 幅,每幅试桩从顶高程 7.1 m,桩底高程 -16.0 m,桩入土总深度 23.1 m。其中上部无效桩段 1.6 m,下部有效桩深 21.5 m。通过试打得出三轴深层搅拌桩新设备施工参数见表 3。

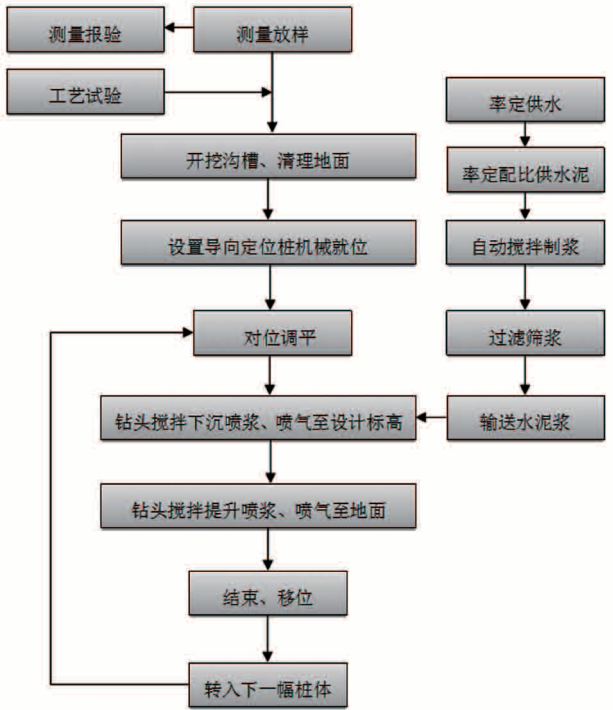


图 1 施工工艺流程图

表 3 试桩参数成果表

水灰比		1.5
空输浆管提前喷浆时间		20 S
奇数编号桩 (幅)	无效桩段喷浆搅拌下沉速度	1.6 m/min
	无效桩段喷浆搅拌提升速度	2.0 m/min
	有效桩喷浆搅拌下沉速度	0.8 m/min
	有效桩喷浆搅拌提升速度	1.0 m/min
偶数编号桩 (幅)	无效桩段喷浆搅拌下沉速度	1.6 m/min
	无效桩段喷浆搅拌提升速度	2.0 m/min
	有效桩喷浆搅拌下沉速度	1.0 m/min
	有效桩喷浆搅拌提升速度	1.4 m/min

注:表中无效桩段为防无浆堵塞钻孔,采取 7% 水泥掺入量;有效桩体按 15% 水泥掺入量搅拌。

- (3) 施工顺序。根据试桩参数与报批施工方

案，每排采用跳打，待第 1 排第 1 幅墙体水泥土初凝前，回头施打第 2 排，见图 2。

打防渗墙，抽取 2 个钻孔（ZK02、ZK03），上下游翼墙基础下套打防渗墙，抽取 4 个钻孔（ZK01、

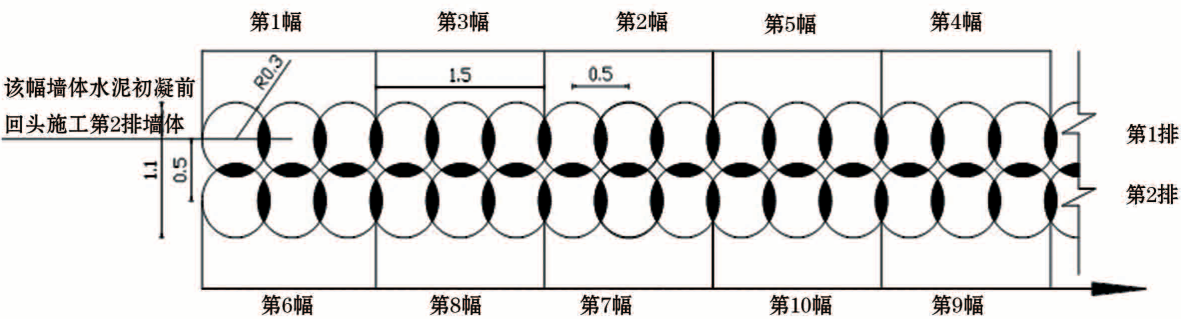


图 2 双排套打三轴搅拌桩施工顺序示意图（单位：m）

5 防渗墙质量检测

5.1 探坑检测

遵照水利工程混凝土施工按先深后浅、先重后轻、先高后矮、先主后次的原则进行<sup>[4]</sup>，首先对泵站底板下完成搅拌桩墙体的基坑土方逐层挖卸，先挖长 36 m、深 2.7 m 防渗墙（凝期 28 d 以上墙体挖出），目测墙体外观质量良好，墙体搅拌均匀，搭接连续、平顺，实测墙体平均厚度 1.12 m，满足设计要求。

5.2 钻芯检测

为验证三轴深层搅拌桩设备实施的“两搅两喷”双排套打水泥石拌桩防渗墙水泥土无侧限抗压强度和水泥土渗透系数，经委托有相应桩体检测资质的单位到现场钻取芯样，在站身底板下套

ZK04、ZK05、ZK06）。实测有效桩长 9.3 m ~ 13.9 m，大于设计桩身长 8.0 m ~ 12.5 m；钻孔取芯后现场进行注水试验，试验结果见表 4。

检验结果表明<sup>[5]</sup>：水泥浆液与土体胶结较好，水泥搅拌桩桩身完整性、均匀性良好，桩身有效强度满足设计要求；据现场留取的完整试样进行室内无侧限抗压强度试验，其代表值为 1.4 ~ 2.5 MPa，大于设计值 1.0 MPa；搅拌桩水泥土的渗透系数为 1.39×10<sup>-6</sup> cm/s ~ 3.31×10<sup>-6</sup> cm/s，效果明显。

6 新设备优势

6.1 移动和操作简捷

ZKD65-3B 型三轴深层搅拌桩设备，机架采用配套的 BZ70 全液压步履打桩架，形同挖掘机，适

表 4 搅拌桩防渗墙墙体渗透系数成果表

钻孔孔号	桩号	段次	试段深度（m）	试段长度（m）	注入流量（L/min）	渗透系数（cm/s）
ZK01	12#	1月1日	0.0 ~ 5.5	5.5	0.035	1.59E-06
		1月2日	5.5 ~ 9.5	4.0	0.041	1.81 E-06
		1月3日	9.5 ~ 14.0	4.5	0.052	2.09 E-06
ZK02	114#	2月1日	0.0 ~ 4.0	4.0	0.028	2.47 E-06
		2月2日	4.0 ~ 8.0	4.0	0.021	1.39 E-06
		2月3日	8.0 ~ 12.0	4.0	0.034	2.12 E-06
ZK04	19#	4月1日	0.0 ~ 4.0	4.0	0.021	1.90 E-06
		4月2日	4.0 ~ 9.0	5.0	0.052	2.96 E-06
		4月3日	9.0 ~ 12.0	4.0	0.049	3.31 E-06



应软硬地面和行走移位灵活,为 1~2 人操作;后台有配浆、送浆与送气系统,形同混凝土拌合楼,按预先设定的水泥掺入量 15% 及水灰比 1.5,在控制台输入和设定好后,1 人值班的配置系统就会自动听从前方桩架操作室配送浆送气到钻头搅拌入土。而以往常规的深层搅拌桩设备,移位是通过人员开动闸阀拉动钢丝绳与下垫钢管,动作慢,后台水泥浆配置靠人工按比例掺入,每班操作至少 4~5 人,效率低。

### 6.2 钻得深和适应不同地质

该三轴深层搅拌设备,每根钻杆直径 219 mm,最大钻施深度达 30 m,钻杆最大扭矩达 60.6 KN/m,并配有定心尖式硬土钻头和鱼尾式软土钻头 2 种,能满足土的标准贯入击数  $N \geq 40$  击的紧密砂夹层深层水泥搅拌桩施工不阻钻。常规的深层搅拌桩设备较适应软基处理,遇上硬土夹层易阻钻或断埋钻杆现象,钻施深度超过 18 m 以上的不多。

### 6.3 搅拌充分和均匀性好

ZKD65-3B 型三轴深层搅拌桩设备,每根轴有 8 道以上的叶片,加上中轴充气上扬及大水灰比“沸腾”搅拌,所实施的“两搅两喷”施工工艺,虽较常规的小水灰比搅拌桩设备少了一道上下搅拌施工行程,但从九圩港提水泵站底板及翼墙底板下的防渗墙探坑实体与钻芯取样检测结果,均反映质量良好。功效方面:新型三轴深层搅拌桩设备施打的泵站底下 756 根搅拌桩,每根桩长 12 m,9 d 施工完成;用常规的深层搅拌桩设备施打的清污机桥底板和部分下游挡墙底板下 316 根搅拌

桩,每根桩长 10 m,22 d 完成。由此看速度是 5~6 倍的关系。

## 7 结语

ZKD65-3B 型三轴深层搅拌桩防渗墙技术,所需设备简单、自动化程度高、操作方便,施工过程中无噪音、无污染。该三轴深层搅拌桩钻机螺旋钻头,分为定心尖式硬土钻头和鱼尾式软土钻头 2 种,适应不同地质情况,可选择不同螺旋钻头进行钻进;该设备具有动力大、钻得深、速度快(上下一次性成桩)、喷浆喷气土中升扬搅拌充分均匀性好、效率高的优点。通过南通市九圩港提水泵站工程的工艺试桩与防渗墙成功实施,其经验可为今后水利工程相应地质条件的设计与施工,提供有益的借鉴与参考。

### 参考文献:

- [1] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司.《南通市九圩港提水泵站工程初步设计报告》[R].扬州:江苏省水利勘测设计研究院有限公司,2014.
- [2] GB/T 51033-2014,水利泵站施工及验收规范[S].
- [3] 李云洲.多头小直径深层搅拌桩截渗墙在水库除险加固工程中的应用[J].水利建设与管理,2015(258):10-12.
- [4] SL27-2014,水闸施工规范[S].
- [5] 江苏兴水工程质量检测有限公司.南通市九圩港提水泵站工程水泥搅拌桩检测报告[R].南京:江苏兴水工程质量检测有限公司,2015.

(责任编辑:王宏伟)