

# 多头搅拌桩结合高压旋喷桩施工技术 在深基坑防渗帷幕中的应用

马 骏

(南通市交通工程质量监督处, 江苏 南通 226600)

**摘要:** 介绍多头搅拌桩和高压旋喷桩的施工原理, 提出采用多头搅拌桩结合高压旋喷桩进行防渗帷幕施工的方法, 并在九圩港二线船闸工程中进行了应用。根据实际应用, 对两种工法施工的质量效果、工程造价及施工工效进行分析和对比。结果表明: 两者施工的墙体均能满足防渗要求, 多头搅拌桩在经济性、工效性方面更具优势, 其工程适应性相对较差。基于两者特性, 认为多头搅拌桩结合高压旋喷桩的施工工艺将会广泛应用于各类截渗工程。

**关键词:** 防渗帷幕; 多头搅拌桩; 高压旋喷桩; 船闸工程

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0183-04

## Application of multi-head stirring pile and high-pressure spraying pile in construction of seepage proof curtain of deep foundation pit

MA Jun

(Traffic Engineering Quality Supervision Department of Nantong, Nantong 226600, China)

**Abstract:** This paper introduces the construction principle of multi-head stirring pile and high-pressure spraying pile, and proposes a method which combines the multi-head stirring pile with high-pressure spraying pile in seepage engineering construction, which was used in the seepage proof curtain of Jiwei port second-line ship lock project. According to the actual application, we compare the quality effect, construction cost and construction efficiency of the two construction methods. The results show that both of them can meet the requirement of seepage control, but multi head mixing pile has more advantages in economy and work efficiency, and its engineering adaptability is relatively poor. Based on the two characteristics, the construction technology which combines multi head mixing pile with high pressure spraying pile will be widely used in various types of seepage engineering.

**Keywords:** seepage proof curtain; multi-head stirring pile; high-pressure spraying pile; ship lock project

在国内外基坑工程开挖过程中, 为确保基坑实现干地施工, 钢板桩、地下连续墙、钻孔灌注桩、高压旋喷桩、多头搅拌桩等措施作为常用的基坑截渗处理方法得到广泛应用。在具体实践中, 钢板桩、地下连续墙、钻孔灌注桩均存在费用高、接缝处理难度大的问题, 高压旋喷桩具有深度灵活、工程适应性强的特点, 但成本较高, 多头搅

拌桩存在地质条件复杂情况下难以施工的缺点<sup>[1-7]</sup>。根据对截渗工程中主要施工工艺特点的分析, 提出采用多头搅拌桩结合高压旋喷桩进行截渗工程施工, 主体采用多头搅拌桩进行施工、断点处采用高压旋喷桩进行接桩。该技术在九圩港二线船闸工程深基坑防渗帷幕施工中的应用, 取得较好的成效。

收稿日期: 2016-01-12

作者简介: 马骏 (1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事公路水运工程质量监督及建设管理。

## 1 施工工艺及原理

### 1.1 多头搅拌桩

多头搅拌桩技术是指在桩机三支点垂直立柱导杆上装载着挖掘搅拌装置, 5 根掘削搅拌轴将回转动力传至挖掘头, 同时通过 3 孔送浆、2 孔送气、五轴掘搅、三维作业, 以水泥作固化剂, 通过桩机在地基深处将土体和固化剂强制拌和, 利用固化剂、土体和水之间所产生的一系列物理、化学反应, 使土体硬结成具有良好的整体性、水稳定性和阻水性, 并具有一定强度的水泥石截渗墙, 以达到截渗的目的。

### 1.2 高压旋喷桩

高压旋喷桩技术是利用钻机钻孔至设计深度, 利用高压泥浆泵通过置于孔底的喷杆杆端特殊喷嘴, 向周围土体高压喷射水泥浆液, 同时喷杆以一定的速度边旋转边提升, 高压射流使一定范围内的土体结构破坏, 并强制与水泥浆液混合, 凝固后便在土体中形成具有一定性能和形状的固结体。固结体的形状和喷射流的移动方向有关, 可分为旋转喷射、定向喷射和摆动喷射<sup>[8]</sup>。

## 2 工程应用实例

九圩港二线船闸规模为  $230\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4.0\text{ m}$  (闸室长 $\times$ 口门宽 $\times$ 槛上最小水深) 的 III 级通航建筑物, 根据工程勘探资料, 主体基坑土质基本为粉土及粉砂土。船闸主体基坑防渗帷幕设计采用多头搅拌桩帷幕, 根据计算, 设计深度分为 20 m 和 18 m 两种: 基坑右岸(一线闸侧)和上、下闸首口门处, 深度为 20 m, 墙顶高程为 1.0 m, 墙底高程为 -19.0 m, 总长 459.04 m, 共计 9 180.8 m<sup>2</sup>; 基坑左岸深度为 18 m, 墙顶高程为 1.0 m, 墙底高程为 -17.0 m, 总长 321.26 m, 共计 5 782.68 m<sup>2</sup>。墙体水泥石无侧限抗压强度不小于 0.8 MPa (28 d 龄抗压强度), 墙体渗透系数设计值为  $A \times 10^{-8}\text{ m/s}$  ( $1 < A < 10$ )。

### 2.1 多头搅拌桩施工方法

该工程多头搅拌桩防渗帷幕采用 SPM-5V22 多头深层搅拌桩机进行施工, 共有 5 个搅拌头(图 1)。

单个搅拌头直径 445 mm, 轴距为 325 mm, 成墙最小厚度  $\geq 300\text{ mm}$ 。采用第 2、5 钻头喷气, 第 1、3、4 钻头喷浆的方式进行作业, 在搭接位置处由下一幅第 1 个钻头套打上一幅第 5 个钻孔, 成墙后沿成墙方向每幅有效长度约 1.3 m。

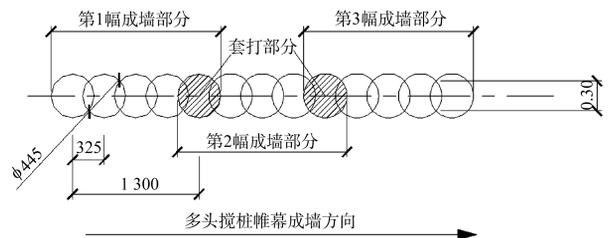


图 1 多头搅拌桩帷幕成墙示意 (单位: mm)

多头搅拌桩防渗帷幕水泥采用 42.5 普通硅酸盐水泥, 水胶比为 1.5, 掺量为 17%, 浆液密度  $1.37\text{ g/cm}^3$ , 28 d 无侧限抗压强度  $\geq 0.8\text{ MPa}$ 。工艺流程如下:

- 1) 测量放样, 施放截渗墙的轴线;
- 2) 对机械行走的作业面承载力进行确定, 然后作出相应处理;
- 3) 测放具体孔位, 设置定位标志;
- 4) 移动主机至设计桩位, 并进行机械调平, 水平对中, 确保机架垂直度、平面定位精度符合设计要求;
- 5) 启动设备动力转盘, 带动桩机钻头搅拌下沉, 同时开启喷浆泵送浆至设计深度, 流量计记录输浆量;
- 6) 重复搅拌、提升, 同时喷浆直至孔口;
- 7) 关闭搅拌桩机。桩机前移就位调平后, 重复过程 4)~6), 即完成一幅墙体的施工, 然后, 再进行下一幅墙体施工。

### 2.2 防渗帷幕接头处理方法

多头搅拌桩防渗帷幕须保持持续施工, 不得出现 8~24 h 的施工冷缝<sup>[9]</sup>。但在实际中, 由于机械故障、局部地质复杂、天气条件、施工组织设计预留等原因常造成多头搅拌桩长时间停工。根据规范, 搅拌桩机停工时间超过 8~24 h, 恢复施工后若搅拌装机无法下沉至停浆搅拌点以下 0.5 m 时, 应在下一序桩与前序桩在一侧或两侧

搭接, 搭接长度不小于2根桩径<sup>[9]</sup>。

对于在多头搅拌桩防渗帷幕施工中出现的12处断点接头位置, 该工程采用高压旋喷桩进行接续处理。高压旋喷桩钻头直径为800 mm, 在断点位置外侧设置互相咬合的高压旋喷桩, 桩间搭接长度为200 mm, 接续桩轴线平行于多头搅拌桩轴线, 与多头搅拌桩轴线中心距为400 mm, 即接续桩与多头搅拌桩搭接厚度为222.5 mm(图2)。

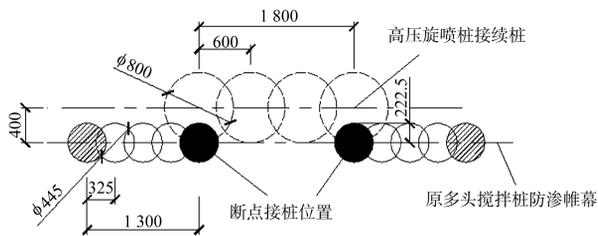


图2 多头搅拌桩断点接续处理(单位: mm)

高压旋喷桩接续桩施工采用三重管法, 钻孔直径800 mm, 中心距为600 mm, 水胶比为1.0, 浆液密度 $1.51 \text{ g/cm}^3$ , 28 d无侧限抗压强度 $\geq 0.8 \text{ MPa}$ 。工艺流程如下。

1) 平面定位: 将处理多头搅拌桩防渗帷幕冷缝的高压旋喷钻机定位于冷缝外侧, 引孔中心距冷缝400 mm。

2) 钻机引孔: 将钻机架设稳固并整平, 采用泥浆护壁钻进, 钻至防渗帷幕设计底高程以下300 mm后终孔。

3) 浆液制备: 根据设计水灰比制备水泥浆。

4) 高喷台车就位施工: 引孔结束后, 钻机移至下处钻进, 高喷台车就位、对中、调平、孔口试喷、设定摆角、下设喷管至孔底, 开始高压摆喷施工。

根据现场实际施工情况, 九圩港二线船闸工程主体基坑防渗帷幕共施工多头搅拌桩720幅, 断点接续共12处, 施工高压旋喷桩22根。

## 2.3 效果分析

### 2.3.1 质量

对于本文提出的采用多头搅拌桩结合高压旋喷桩的方式进行施工的防渗帷幕, 通过开挖探坑检查、钻芯检测两种方式进行质量检查, 检验接

桩质量情况。

1) 开挖探坑检查: 成桩28 d后, 在接桩位置沿墙体轴线开挖至2 m左右深度。通过检查发现墙体的完整性、规则性、均匀致密性较好, 桩体间连接质量和墙体厚度均达到预期效果。

2) 钻芯检查: 在开挖探坑检查的同时, 邀请第三方试验检测机构对防渗帷幕墙体进行钻芯取样, 通过所取芯样对墙体均匀性、完整性和连续性进行评价。检测结果如下: 防渗帷幕抗压强度平均值为3.6 MPa, 渗透系数平均值为 $8.18 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ , 其中渗透系数最大值为 $9.76 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ , 最小值为 $6.36 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ , 满足设计要求。

### 2.3.2 造价

该工程多头搅拌桩防渗帷幕桩径为 $\phi 445 \text{ mm}$ , 实际水泥消耗量为 $330 \text{ kg/m}^3$ , 高压旋喷桩防渗帷幕桩径为 $\phi 800 \text{ mm}$ , 实际水泥消耗量为 $233 \text{ kg/m}^3$ 。以20 m深防渗墙为例, 分别计算多头搅拌桩、高压旋喷桩施工的防渗墙每延米水泥消耗量, 多头搅拌桩每延米防渗帷幕须消耗水泥约3 946 kg; 高压旋喷桩的质量约为5 203 kg(图3)。

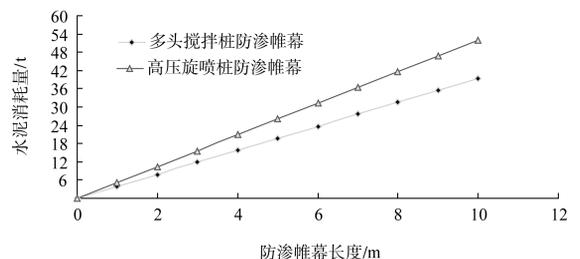


图3 主体基坑防渗帷幕(20 m深)单位长度水泥消耗

根据分析可知, 在不考虑人工及机械台班的前提下, 多头搅拌桩防渗帷幕每延米水泥消耗量明显低于高压旋喷桩防渗帷幕每延米水泥消耗量, 故采用多头搅拌桩施工防渗帷幕更为经济。

### 2.3.3 工效

根据工程实际情况, 不考虑机械故障、地质条件等客观因素, 多头搅拌桩每台机组配6个工人, 每天(24 h)可完成21幅, 高压旋喷桩每台机组配6个工人, 每天可完成10根。根据工程设计, 分别换算每天2种工法作业的防渗帷幕的有效面积, 多头搅拌桩防渗帷幕的施工能力约为 $546 \text{ m}^2/(\text{台} \cdot \text{d})$ , 高压

旋喷桩的约为 108 m<sup>2</sup>/(台·d)，可见，多头搅拌桩施工防渗帷幕效率较高，约为高压旋喷桩工效的 5 倍。

### 3 结语

多头搅拌桩和高压摆喷桩两种工艺均可用于截渗工程施工，所形成的墙体均能满足防渗要求。根据在九圩港二线船闸工程的实际应用，多头搅拌桩施工防渗帷幕在经济性、工效性方面较高压摆喷桩施工工艺更具优势，但其工程适应性相对较差。本文提出采用多头搅拌桩结合高压旋喷桩的方式进行深基坑防渗帷幕施工，在截渗工程施工中将具有较为广阔的应用前景。

### 参考文献：

[1] 贺为名. 深层搅拌桩复合地基及止水帷幕研究与应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.

[2] 乔婷, 徐刚. 多头搅拌桩与高压摆喷桩在截渗工程中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 172-176.

[3] 张争强. 多头小直径深层搅拌防渗墙在水利工程中的应用[J]. 浙江万里学院学报, 2005, 18(2): 113-115.

[4] 王丽军, 汪莲. 多头小直径深层搅拌桩防渗技术及其应用[J]. 工程与建设, 2006, 20(1): 60-62.

[5] 孙鹏. 钢筋混凝土钻孔灌注桩与高压旋喷桩组合结构在深基坑支护中的作用[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013.

[6] 林钟. 深层搅拌桩和高压旋喷在防洪堤施工中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(8): 47-50.

[7] 吕直华, 罗成喜, 陈郡, 等. 深层搅拌桩在堤防修复中的应用及效果评价[J]. 中国农村水利水电, 2011(9): 89-91.

[8] 李刚, 廖勇龙, 董建军. 高喷法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

[9] DL/T 5425—2009 深层搅拌法技术规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)



## · 消 息 ·

### 交通基础设施建设 3 年行动启动投资 4.7 万亿元

日前，国家发展改革委、交通运输部联合印发《交通基础设施重大工程建设三年行动计划》(简称《行动计划》)。《行动计划》指出，2016—2018 年，拟重点推进铁路、公路、水路、机场、城市轨道交通项目 303 项，涉及项目总投资约 4.7 万亿元，以完善快速交通网、基础交通网、城际城市交通网为重点，推动形成国内国际通道联通、区域城乡覆盖广泛、枢纽节点功能完善、一体衔接便捷高效的综合交通网络，更好发挥组合优势和网络效益。

《行动计划》明确，要加快前期工作，加强资金保障，强化规划衔接，细化落实方案，打造高品质的快速交通网络，完善广覆盖的基础交通网络，发展高效率的城际城市交通。2016—2018 年，将在 5 方面加大投资力度，重点推进：铁路方面，结合中长期铁路网规划修编和铁路“十三五”发展规划编制，完善国家高速铁路网络，提升中西部铁路通达通畅水平，加快推进城市群城际铁路建设。公路方面，以“三大战略”区域通道内高速公路为重点，实施国家高速公路网剩余路段建设和繁忙路段改扩建，推进普通国道提质升级和未贯通路建设；水路方面，建设长江黄金水道，加强长江等内河航道整治，提升沿海港口的现代化水平，完善航运中心功能，支撑海上丝绸之路建设；机场方面，结合全国民用运输机场布局规划修编，推进干线机场改扩建工程，提升枢纽机场保障能力，加快支线机场建设，完善机场布局；城市轨道交通方面，加强规划建设管理，有序推进城市轨道交通建设，逐步优化大城市轨道交通结构。

[http://en.ccccltd.cn/pub/cccltd/xwzx/hyzx/201605/t20160517\\_47874.html](http://en.ccccltd.cn/pub/cccltd/xwzx/hyzx/201605/t20160517_47874.html) (2016-05-17)