

# 高压旋喷桩与钢板桩联合加固顶管洞口方法研究

祁冠辉

中铁十五局集团城市建设工程有限公司

**摘要：**在城市非开挖施工方法中，顶管工法施工是较常用的一种方式，但在顶管设备进出洞口时，易发生突水突泥、钻机设备“垂头”等问题，是整个顶管施工的最薄弱环节。本文采用高压旋喷桩与钢板桩联合加固顶管洞口方法，研究了此方法的施工工艺，研究结果表明：（1）高压旋喷桩比水泥搅拌桩、深孔注浆更适用于城市区施工；（2）在粉质黏土地层中，采用高压旋喷桩加固顶管洞口时，顶管上下土体需要加固3m，桩体搭接10cm，长度方向满足1倍顶管机长度，可满足顶管洞口稳固要求，保证施工安全和质量。

**关键词：**高压旋喷桩；钢板桩；联合加固；顶管工程；洞口

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.04.045

## 一、引言

随着城市建设的大规模发展，伴随与深基坑相关的施工工程越来越多。深基坑受工程地质、周边建筑物、交通道路及河流水渠影响较大<sup>[1]</sup>，当深基坑作为顶管工作坑时，顶管施工洞口加固尤为重要。根据地质的不同，顶管洞口加固的方式不同，通常采用水泥土加固、深孔注浆及高压旋喷桩加固等方法。

高压旋喷桩多用于止水帷幕，止水效果良好。城市作业区域有限、工期紧张，采用传统的顶管工法加固顶管洞口效果不佳，影响工程质量。本文依托某临渠污水泵站进出水管道顶管工程，采用高压旋喷桩与钢板桩联合加固顶管洞口方法，研究此联合加固方法的可行性，可为类似工程提供借鉴意义。

## 二、高压旋喷桩与钢板桩联合加固顶管洞口方法

对于顶管施工地层为含水粉质黏土地层，施工断面地质土层不均，深基坑开挖时，首先采用拉森钢板桩围堰系统进行开挖支护，然后在坑底设置封底混凝土垫层，钢板桩支撑在封底混凝土上，为使顶管设备有可靠的受力；其次，在顶管方向应设置钢筋混凝土背墙，将顶管千斤顶力均匀传递给围护结构，再由围护结构传递给周围土体，预留洞口用砖砌体临时封堵；然后，在背墙施工完成后，拔出顶管洞口钢板桩至洞口以上10cm，并临时固定，防止下滑；最后，采用高压旋喷桩对洞口土体加固，使之具有一定支持强度和隔水性，满足

顶管机进出口稳定的要求。高压旋喷桩与钢板桩联合加固顶管洞口平面示意图如图4所示。

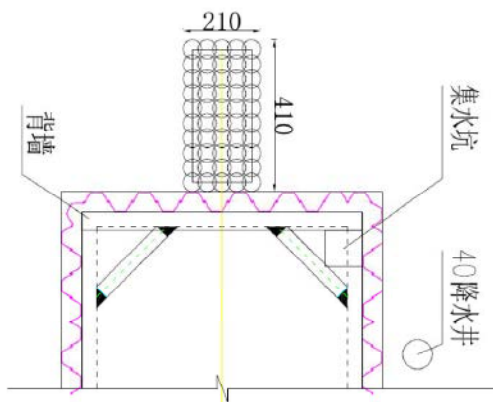


图1 钢板桩与高压旋喷桩联合加固顶管洞口法示意图

## 三、应用工程案例分

### （一）工程和地质情况

#### （1）工程概况

周口高新区某道路工程，需在道路南侧增加一处污水提泵站，同时施工配套污水管道，管道临河段设3处检查井，全长120m，采用顶管法施工，在检查井位置设置顶管工作坑和接收坑。污水泵站及工作坑临近一条城市干渠，干渠水深2.50m，宽26m，如图1所示。顶管管材为C40钢筋混凝土III级钢承口管道，管节长2m，工作坑深8.5m。根据排水要求，施作泵站进水、出水管道。道路位于市区，市政主管网管道埋设在非机动车道下方，施工场地狭小，受交通影响较大，在施工过程中，需合理规划施工平面布置，要兼顾行人及车辆通行。

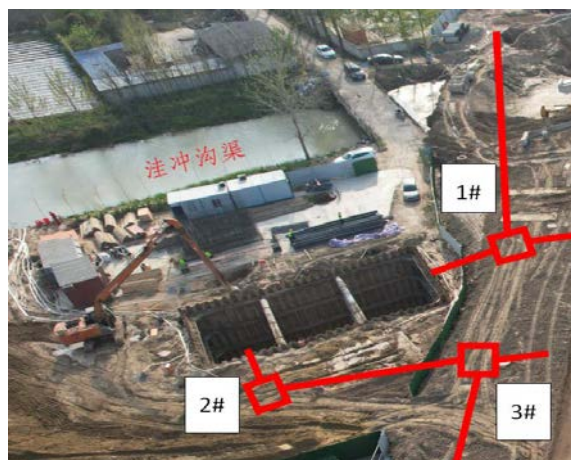


图2 现场平面图

(2) 地质和水文概况

根据岩土工程勘察情况，该工程范围内地层情况由上至下为粉土、粉质黏土，其土层相关物理力学参数如表1所示。地下水水位较浅，实测水位在原地面以下1.5

m，地下水丰富，多为潜水，靠大气降水补给。顶管洞口所处地层为粉质黏土，灰色，呈现流塑状，主要有河流环境沉积的黏土及有机质物组成。

(二) 洞口联合加固

表1 地层土体物理力学参数

地层编号	岩土名称	密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	比重 $G_s$	重度 $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	摩擦角 $\phi$ °	粘聚力 $c$ kPa	压缩系数 $\alpha_{0.1-0.2}$ 1/MPa	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ MPa
①	粉土	1.87	2.70	19.10	24.40	12.90	0.342	5.202
②	粉质黏土	1.94	2.71	19.50	14.70	26.40	0.427	4.259
③	粉质黏土	1.96	2.71	19.80			0.316	5.675
④	粉土	1.96	2.70	19.70	24.60	13.30	0.150	11.755

(1) 深基坑支护

为了保证深基坑稳定，采用拉森IV型钢板桩+H型钢围檩（含角撑）+管井降水的组合方式支护工作坑和接收坑。钢板桩长12m，工作坑平面尺寸9.6×7.6m，接收坑平面尺寸7.1×7.6m，如图3所示。采用坑外管井降水辅助钢板桩支护，以便于基坑土方开挖和基底土体的稳定，管井采用直径360mm的透水混凝土管，降水井并深

15m，0.75KV潜水泵降水作业。应在钢板桩和洞口土体加固后施工降水井，保证地下水位位于基底0.5m以下。

在坑底设置C20封底混凝土垫层，钢板桩支撑在封底混凝土上，为使顶管设备有可靠的受力，在顶管方向应设置背墙，背墙高1.8m，背墙采用钢筋混凝土，将顶管千斤顶顶力均匀传递给围护结构，再由围护结构传递给周围土体。预留洞口用砖砌体临时封堵。

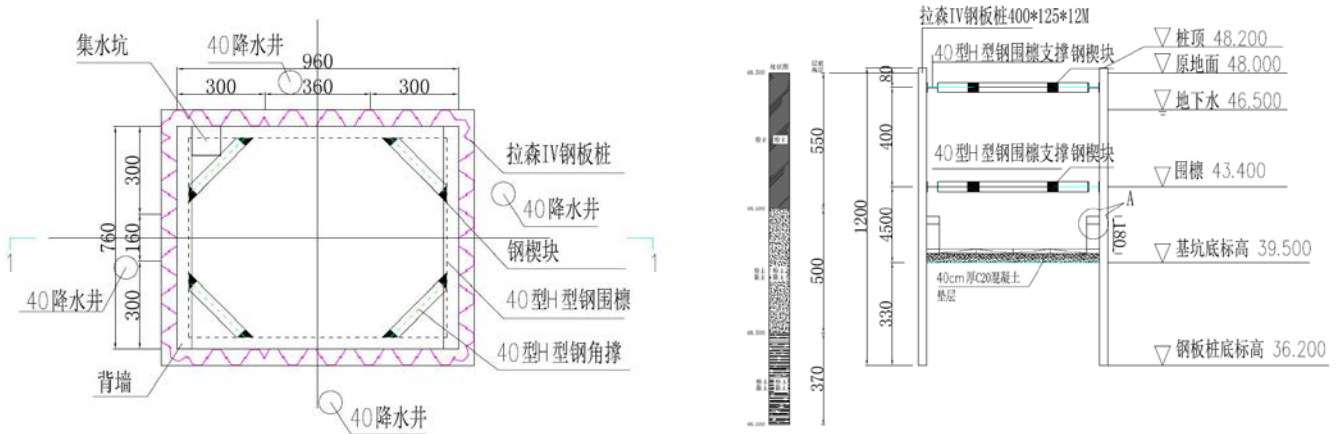


图3 工作坑钢板桩支护系统：(a) 平面图；(b) 剖面图

(2) 高压旋喷尺寸和注浆参数确定

本工程顶管洞口加固时，拟采用的高压旋喷桩桩径为500mm，桩长7.5m，竖向超出洞口3.0m，横向设置5排，桩间距500mm，纵横向桩间搭接长度为10cm，顺顶管方向加固4.1m，旋喷注浆工艺为单管法。

1) 高压旋喷桩桩长

根据水泥土桩的荷载传递理论分析，桩荷载在深度方向上的传递呈负指数规律逐渐衰减，桩的摩擦阻力和桩的强度越大，应力衰减越快，此时荷载主要由桩上部来承担，深度越大则应力越小<sup>[2]~[4]</sup>。所以有效桩长根据经验公式：

$$L_c = \frac{5.756}{2bk_r} r_p \quad (1)$$

式中： $L_c$ 为有效桩长； $b$ 为桩与土之间的摩擦系数； $r_p$ 为桩的半径，本文取 $r_p=0.5$ m； $k_r$ 为朗肯压力系数， $k_r = \tan^2(45^\circ - 0.5\phi)$ ， $\phi$ 为土的内摩擦角<sup>[5]</sup>。

根据地勘情况和现场试验，取 $b=0.5$ 和 $\phi=15^\circ$ ，带入式(1)可得 $L_c=2.62$ ，本文取3.0m，即管道上下各3.0m。

2) 高压旋喷注浆参数确定

高压旋喷桩通常采用单管法，高压旋喷桩需经试桩检验合格后，方可进行大面积施工。本文拟采用42.5级普通硅酸盐水泥，水泥掺量根据实验确定，用量不小于150kg/m<sup>3</sup>，水泥浆液水灰比1:1，旋喷压力不小于20 MPa<sup>[5]</sup>。高压旋喷桩试桩采用的控制指标如表2所示。

表2 高压旋喷桩试桩采用的控制指标

名称	桩径mm	喷浆压力 (MPa)	旋转速度 (r/min)	提升速度 (cm/min)	水灰比	水泥用量 (kg/m)	水泥浆液流量 L/min
试桩指标	500	≥20	20~30	15~25	1: 1	150	>30

试桩后根据喷量法计算高压旋喷桩需要喷浆量:

$$Q = \frac{H}{V} q (1 + \beta) \quad (2)$$

式中: v为提升速度, 取0.20m/min; H为喷射长度, 本工程为7.5m; q为单位时间喷浆量, 取30L/min; β为损失系数, 一般为0.1~0.2, 本工程取0.15。计算得喷浆量1.73m³。

### (三) 高压旋喷桩施工工艺

1) 钻机就位。根据施工图和桩位布置图, 测量样桩位中心点, 中心点偏差±50mm。钻机就位后, 应对钻机稳定性和垂直度进行校正。且确保钻杆和桩位一致, 钻孔垂直度控制在1%之内。在钻孔前要调试压浆泵, 确保设备正常运转, 距离符合规范要求<sup>[5]</sup>;

2) 钻孔。钻杆节数要认真记录, 以保证在钻孔期间钻孔深度准确性。钻至设计深度之后, 在钻孔过程中遇到地下障碍物或与地勘报告不符合的情况应做好记录<sup>[5]</sup>;

3) 搅拌制浆。选用42.5级别的普通硅酸盐水泥制备水泥浆, 水灰比应经试验确定, 本工程水灰比为1:1;

4) 旋喷提升。当钻头钻至设计深后, 停止钻进, 钻头喷嘴开始喷浆, 自下而上喷射注浆, 旋喷时喷嘴一边喷射一边旋转提升。升至管顶以上3.0m后, 停止喷浆, 缓慢拔出钻杆, 并做好机具清理。

### 四、结论

本文依托某顶管工程, 分析了高压旋喷桩与钢板桩联合加固洞口方法在富水粉质黏土层中的可行性, 并对高压旋喷桩洞口加固施工工艺和施工参数进行了研究,

主要结论如下:

(1) 与水泥搅拌桩、深孔注浆相比, 高压旋喷桩更适用于城市有限作业区施工, 节省施工成本, 施工质量佳;

(2) 施工过程中需充分考虑地层含水率、水泥掺量、黏土黏性等因素对高压旋喷桩成桩质量的影响, 必要时需进行试验确定其配比;

(3) 在粉质黏土地层中, 采用高压旋喷桩加固顶管洞口时, 顶管上下土体需要加固3m, 桩体搭接10cm, 长度方向满足1倍顶管机长度, 可满足顶管洞口稳固要求, 保证施工安全和质量。

### 参考文献

[1] 刘成涛. TRD工法联合伺服钢支撑在地铁深基坑中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2022-01-20.

[2] 王彬, 孙亚刚, 任润田, 邢礼荣. 谈顶管施工进出洞预加固措施[J]. 山西建筑, 2017-12-01.

[3] 曾克强 (导师: 赵明华; 罗立武). 旋喷桩复合地基设计理论与施工技术及其工程应用[D]. 湖南大学硕士论文, 2006-02-01.

[4] 杨飞. 旋喷水泥土桩有效桩长的探讨[J]. 广东土木与建筑, 2003-05-15.

[5] 侯奔聘, 孙维振, 刘博元, 董军, 陈波. 高压旋喷桩技术在顶管洞口加固中的应用[C]. 土木工程新材料、新技术及其工程应用交流会论文集(下册)》, 2019-05-17.

作者简介: 祁冠辉(1986.4.15), 男, 汉族, 河南省安阳市, 本科, 现有职称: 工程师, 研究方向: 市政工程施工管理。