

## 高压旋喷桩复合地基于回填土地基处理中的应用

张鹏斌, 贾苗, 冯伟

中铁隧道集团一处有限公司 重庆

**【摘要】**某地铁绣湖路站前两段埋置于素填土、杂填土等不稳定的土层中,为保证 TBM 掘进及周围建筑物地基稳定,需对盾构始发区域进行土体加固,以此降低对周围环境的影响,控制地表与基坑变形。针对此类软土地层,采用高压旋喷桩的加固方式以形成水泥加固体,增强地基承载力。文章与工程实例相结合分析,以高压旋喷桩的加固方法在地铁绣湖路站基坑工程防护中加以应用,通过方案设计、施工参数确定、浆液配置、安全检查等方面,对高压旋喷桩作为基坑主体支护结构展开研究,并基于研究方案提出设计思路,降低施工对周围环境的施工影响,以期为相近条件下的盾构施工提供技术参考。

**【关键词】**地铁; 盾构; 回填土; 施工

**【收稿日期】**2023 年 1 月 12 日 **【出刊日期】**2023 年 2 月 19 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.20230004

### Application of high pressure jet grouting pile composite foundation treatment based on backfill soil

Pengbin Zhang, Miao Jia, Wei Feng

China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Chongqing

**【Abstract】** The first two sections of a subway Xiuhu Road Station are buried in unstable soil layers such as plain fill and miscellaneous fill. In order to ensure the stability of TBM tunneling and the foundation of surrounding buildings, it is necessary to reinforce the soil in the shield launching area, so as to reduce the impact on the surrounding environment and control the deformation of the surface and foundation pit. For this kind of soft soil layer, high pressure jet grouting pile reinforcement method is adopted to form cement reinforcement and enhance foundation bearing capacity. Based on the analysis of engineering examples, this paper applies the reinforcement method of high-pressure rotary jet grouting pile in the protection of foundation pit engineering of subway Xiuhu Road Station. Through the aspects of scheme design, construction parameter determination, slurry configuration and safety inspection, this paper studies the high-pressure rotary jet grouting pile as the main supporting structure of foundation pit, and puts forward the design idea based on the research scheme to reduce the construction impact on the surrounding environment, so as to provide technical reference for shield construction under similar conditions.

**【Keywords】** Subway ; Shield ; Backfill ; Construction

### 1 工程概况

#### 1.1 区间概况

重庆轨道交通 15 号线一期工程 03 标包含 2 站 3 区间,分别为绣湖路站(明挖)、宝圣湖站(暗挖)、西南政法大学站~宝圣湖站区间(1450.2mTBM 段+21.7m 矿山段)、宝圣湖站~绣湖路站区间(3405.1mTBM 段+18.1m 矿山段)、绣湖路站~T3

航站楼区间(2861.4mTBM 段),起止里程 K63+254.231~K71+452.842,总长度 8198.611m。标段平面位置见图 1 所示。

#### 1.2 地质概况

旋喷加固段场地表层填土层厚约 3.7~18.5m,下伏基岩主要为侏罗系中统沙溪庙组砂质泥岩。隧道洞顶围岩分级为 VI 至 V 级,始发段埋深较浅为

超浅埋隧道, 此条件下的成洞环境较差, 无自稳能力, 以拱部松动破坏为主。

1.3 本区间工程特点

本区间段主要采取复合式 TBM 开展施工, 考虑到复合式 TBM 始发、接收及掘进的安全, 对宝圣湖站~绣湖路站区间埋置于素填土、杂填土等不稳定土层区间段土层进行地层变形控制<sup>[1]</sup>, 加固范围为平面: YK68+109~+204、YK68+282~+320.026、ZK68+142~+219、ZK68+268~+320.026, 管片外轮廓线外 2m, 竖向为结构拱顶以上 3m 至风化线以下 0.5m; Z/YK68+320.026~+334.026 为 TBM 端头加固区, 加固范围为管片外轮廓线外 4m, 竖向为结构拱顶以上 3m 至风化线以下 1m。

地面采用双重管高压旋喷桩的方式开展地层加固, 加固分为非咬合区与咬合区, 非咬合区为  $\phi 800@1200$  (线路纵向)  $\times 1200$  (线路横向), 咬合区旋喷桩布置为  $\phi 800@600$  (线路纵向)  $\times 600$  (线

路横向)<sup>[2]</sup>。宝圣湖站~绣湖路站区间回填土地段进行旋喷桩加固施工, 各段施工参数见表 1。

2 设计方案

2.1 主要设计参数

注浆溶液采用浆液混合比例为 1:1 的水泥浆液, 注浆材料采用 42.5R 普通硅酸盐水泥, 旋喷装置的提升速度小于等于 15~20cm/min, 高压浆液压力 20~28MPa, 高压空气压力 0.7MPa, 注浆压力 2.0~3.0MPa。成桩标准为在旋喷加固后, 成桩 28d 抗压强度应大于 1.0~1.2MPa, 同时渗透系数应小于  $1.0 \times 10^3 \text{cm/s}$ 。旋喷桩加固图见图 2 和图 3 所示。

2.2 施工工艺流程

根据图纸进行测量及放线, 并清理施工场地, 钻机定位, 调整垂直度, 预备施工用水, 后制备浆液, 随后开始施工作业<sup>[3]</sup>。钻至设计深度后, 开展喷射注浆作业, 随后移至下一孔位。

具体高压旋喷桩施工工艺流程见图 4 所示。

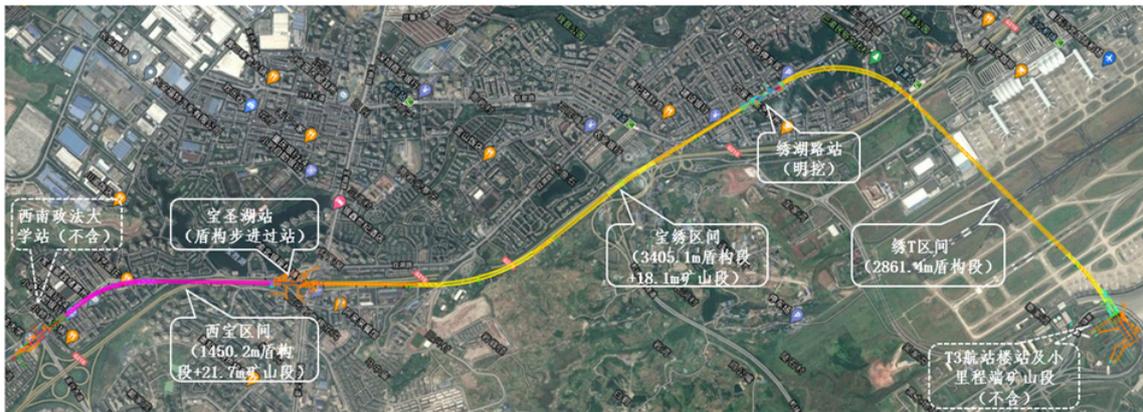


图 1 重庆轨道交通 15 号线一期工程土建 03 标平面示意图

表 1 各段旋喷桩施工参数表

序号	项目	施工形式	施工段	加固形式	里程	实桩 (m)	空桩 (m)	桩长 (m)	备注	
1	宝圣湖站~绣湖路站区间旋喷加固	回填土加固	端头段	咬合桩	左线 ZK68+334.026~ZK68+320.026, 右线 YK68+334.026~YK68+320.026	6170	10605	16775	1219 根	
2				非咬合桩	左线 ZK68+320.026~ZK68+305, 右线 YK68+320.026~YK68+307	2886	2550	5436	300 根	
3				咬合桩	左线 ZK68+305~ZK68+291, 右线 YK68+307~YK68+293	11211	8383	19594	1010 根	
4				非咬合桩	左线 ZK68+291~ZK68+268, 右线 YK68+293~YK68+282	2644.8	3060	5704.8	360 根	
5				区间段	非咬合桩	左线 ZK68+219~ZK68+190, 左线 ZK68+183~ZK68+142, 右线 YK68+204~YK68+109	12753	16969	29722	1540 根
6					咬合桩	左线 ZK68+190~ZK68+183	2811	2393	5204	231 根

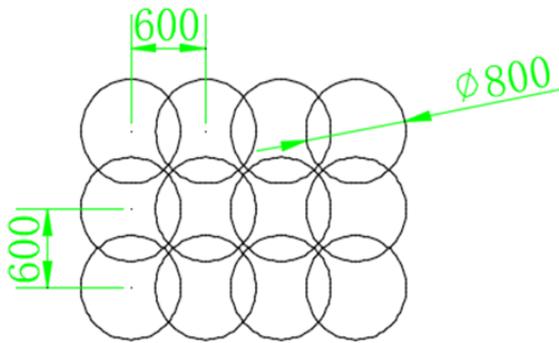


图 2 咬合段旋喷桩加固

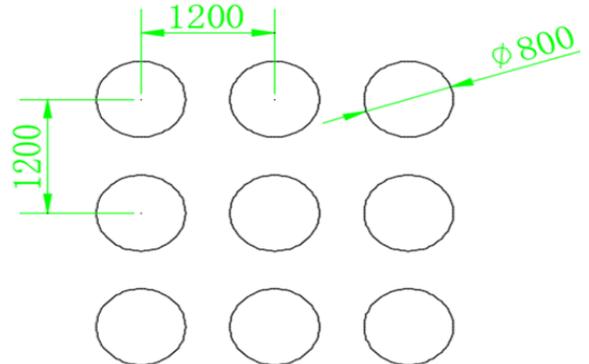


图 3 非咬合段旋喷桩加固

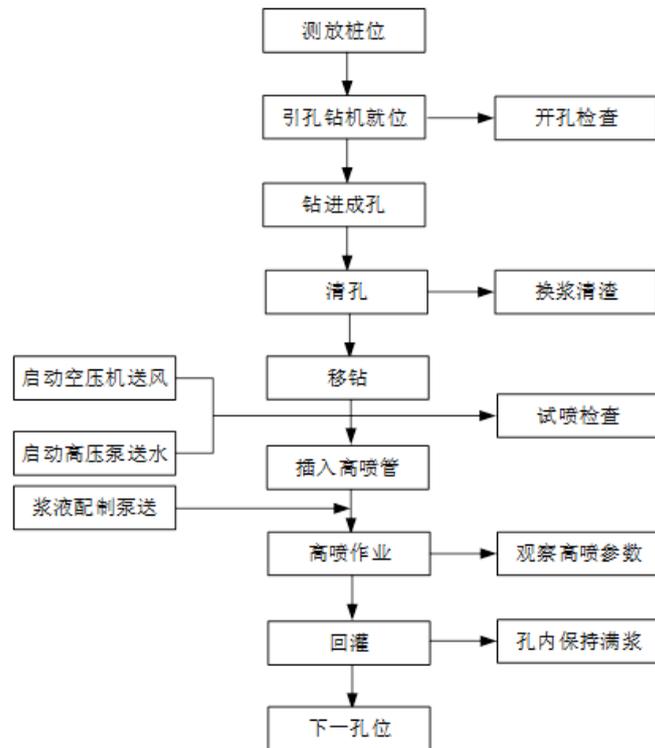


图 4 高压旋喷桩施工工艺流程图

### 2.3 施工方法

#### (1) 工艺参数的确定

试桩根数 2 根, 水灰比为 1:1, 喷射压力范围 20~28Mpa, 空气压力为 0.7Mpa, 提升速度范围 15~20cm/min, 旋转速度范围 15~20r/min。

#### (2) 工艺参数的确定

根据试桩后确定的参数制定施工技术参数, 初步确定施工技术参数见表 2 所示。

### 2.4 浆液配置

施工采用高压旋喷桩的浆液, 采取 P.O42.5 普通

硅酸盐水泥, 所配置的水泥浆液配水灰比为 1: 1。搅拌灰浆过程中, 灰浆搅拌时间应不小于 6 分钟, 在浆液的制备过程中为防止泥浆结块, 应当灰浆进行搅拌措施。在喷浆的过程中应当采用滤网, 过滤掉较大体积的的水泥硬块, 防止在喷浆的过程中堵塞喷射装置引起施工延误等状况<sup>[4]</sup>。

每根桩水泥浆用量估算公式为:  $Q = \pi R^2 H (1+B)$  其中:  $Q$ —旋喷浆液用量 ( $m^3$ );  $R$ —桩体半径 ( $m$ );  $H$ —桩长 ( $m$ );  $B$ —损失系数, 选 0.1~0.2。

### 3 问题及处理措施

#### 3.1 常见问题处理措施

旋喷注浆施工常见问题及处理措施见表3所示。

#### 3.2 质量保证措施

在旋喷桩施做的过程当中,应当首先对原材料进行质量检测,验收合格后原材料进行编号,在后续制备桩的过程当中明晰材料来源。成桩质量尤为

重要,浆液的配合比也需要进行严格的质量控制,在浆液配置的过程当中应当注意防止浆液结块,制备浆液的同时,同步过滤浆液,将浆液中的结块进行过滤,防止对后期旋喷过程中阻塞喷口。成桩质量中应当注意每根桩的桩位与施做角度。施工过程中应当注意旋喷桩的咬合过程中不应该出现较长时间的停滞,若停滞时间过长应当采取补浆措施。

表2 各段旋喷桩施工参数表

序号	项目	技术参数
1	高压水泥浆压力 (MPa)	15~20
2	浆比重 (kg/l)	1.5
3	高压空气压力 (MPa)	0.5~0.8
4	注浆压力 (Mpa)	2.0~3.0
5	提升速度 cm/min	15~20
6	旋转速度 r/min	15~20
7	水灰比	1:1
8	喷嘴直径 (mm)	2.5
9	喷嘴个数	3个

表3 旋喷注浆施工常见问题处理措施表

常见问题	产生原因	预防方法及处理措施
固结体强度不均匀、缩径	(1) 选择与地质条件相符的注浆机具。 (2) 突发故障情况应当停止施工进行检修。 (3) 桩身提升的过程中易因为提升速度波动而造成桩结构半径大小不一。 (4) 切削的土体与喷射浆液在搅拌的过程中结合不均匀,出现分层现象。	(1) 在实施成桩的过程中先进行压浆压气试验,准备喷射,采用筛过滤同时保证连续性。 (2) 通过调整喷嘴的旋转速度、喷射压力等方式加强固结体的形状及桩身匀质性的控制。 (3) 采用喷的扩大桩径办法处理紧缩现象加强对成桩质量的控制。 (4) 应当浆液的水灰比进行不断地调整同时对稠度进行监测。
压力不足	(1) 接头处密封圈可能接触不密实且产生泄漏现象。 (2) 安全压力达不到规范要求,或吸浆管残留空气导致气压不足。 (3) 栓塞油泵调压达不到规范要求。	发现此类情况立即进行停机检查,防治对机具产生破坏及造成安全隐患,检修完后需对机具进行调压试验,直到机具达到规范要求的施工压力。
压力骤然上升	(1) 施工中喷嘴遭到堵塞。 (2) 旋喷过程中受到旋喷土颗粒及其他杂物堵塞管路。 (3) 出浆管路及出浆孔受到堵塞。	(1) 立刻停机展开检测,对管内堵塞颗粒进行清洗疏通,仍堵塞情况采用钢针进行疏通。 (2) 针对堵塞较为严重的情况应从开接头进行疏通,疏通结束后采用清水进行旋喷,确保施工后继续施工。
钻孔沉管困难、偏斜、冒浆	(1) 若面不平不实,钻杆及旋喷桩易倾斜而导致产生偏斜。 (2) 实际需要注浆量与旋喷实际灌注量相差很大。	(1) 喷射注浆开展的过程中前当提前开展场地整平,同时钻杆垂直倾斜度应当控制在规范要求。 (2) 应当提高喷射能力适当而减小出浆口径,分析原因,控制实际注浆量减少冒浆、漏浆等情况。

在施做旋喷桩的过程当中, 旋喷桩的成桩, 提升旋喷装置的速度尤为重要, 较为均匀的提升速度能够使得旋喷桩的成桩质量更加均匀, 同时能够防止在桩径更加均匀, 保证成桩质量的同时, 防止超出注浆范围。若停滞施工超过四小时, 应当对喷浆装置进行拆管清理, 防止浆液在喷口凝固而造成的停滞。

### 3.3 质量验收标准

养护完成后对高压旋喷注浆加固工程采用抗压强度发(钻芯法)进行成桩质量检测, 采用 waw-100 型微机控制电液伺服万能试验机进行旋喷桩芯样抗压强度检测。经检测, 旋喷桩芯样抗压强度检测抗压强度范围约为 2.2MPa-5.0MPa 之间, 满足施工龄期超过二十八天, 设计强度为 1.2MPa 的设计要求, 满足旋喷桩设计强度。

## 4 结论

文章结合工程实例, 验证了旋喷桩支护结构对于软弱回填土地层具有较好的支护效果, 能够满足承载力的基本要求。

(1) 做好区间详细勘察报告, 地质条件、地层参数等参数, 多次计算对周边环境的影响系数, 控制盾构掘进后对周边地层的影响, 控制地层变形, 加强对周边环境的控制监测。

(2) 针对旋喷桩施做过程中出现的强度不均,

压力不足冒浆问题及时控制, 采用经验控制法对产生原因进行分析并及时采取处理措施。

(3) 针对旋喷桩成桩质量加强控制, 提高桩身连续均匀性, 降低安全隐患。

## 参考文献

- [1] 娄健,徐华,韩富庆,郭国和,杨明兴,陈壮.隧道浅埋段软弱围岩高压旋喷桩地表加固机理及现场试验方案设计[J].公路,2022,67(08):403-409.
- [2] 李建平,汤恺.盾构正穿灰岩区上软下硬层高速涵洞桩基加固技术[J].隧道建设(中英文),2021,41(S2):533-541.
- [3] 周勇,李鑫,田春,谭刚,杨严.固结灌浆及高压旋喷桩地基软基处理施工关键技术浅析[J].四川建筑,2022,42(S1):38-41.
- [4] 李帆,邱学山,潘逸卉,孙丹.高压旋喷桩在基坑防护中的应用研究[J].江苏科技信息,2022,39(28):66-69.
- [5] 陶云,黄兴.一种新的旋喷桩止水效果检测方法[J].水运工程,2022(09):215-220.

**版权声明:** ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**