

# 水平导向高压喷射注浆技术在饱和砂层中的应用

郭峰, 吴会杰

(河南省地矿局第一地质工程院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**以北京地铁14号线将台路站饱和粉细砂~中粗砂层暗挖通道为例,阐述了水平导向高压喷射注浆工法在饱和粉细砂层地铁修建中的应用。实践证明,该方法既能规避不安全环境,又能有效起到止水效果,为同类项目施工提供了借鉴作用。

**关键词:**北京地铁;饱和砂层;水平导向钻进;高压喷射注浆;止水

中图分类号 TU94<sup>+</sup>3.2 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)08-0079-03

**Application of Horizontal Oriented High-pressure Jet Grouting in Saturated Sand-layer/GUO Feng, WU Hui-jie**  
(No. 1 Geo-engineering Institute, Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou Henan 450001, China)

**Abstract:** Taking the example of underground channels of 14-line in Beijing subway in saturated fine sand-medium sand layer, the paper illustrated the application of horizon-oriented high pressure jet grouting method in the subway construction in saturated fine sand-medium sand layer. The practice shows that this method can not only avoid unsafe conditions, but also can stop water.

**Key words:** Beijing subway; saturated sand layer; horizon-oriented drilling; high-pressure jet grouting; water stop

## 0 引言

饱和的粉细砂层因其地层松散、无粘聚力、无自稳性、呈流塑状等特点,在地铁或隧道修建中极易发生涌水、流砂、塌方等灾害性事故,被誉为岩土工程界的难题。在北京地铁14号线将台路站暗挖通道施工中,遇饱和粉细砂~中粗砂层,采用水平导向高压喷射注浆技术对围岩进行预先加固和止水,使暗挖施工得以顺利完成。

## 1 工程概况

北京地铁14号线将台路站暗挖通道断面宽度18.1 m,施工段长度36 m,覆土层厚度约9.0 m,开挖轮廓线上覆各类管线8条,其中2条污水管及2条雨水管分别距离开挖线2.3和4.0 m。设计采用PBA逆作法施工,环境安全等级为二级,暗挖地层除仰拱位于粉质粘土层外均处于饱和粉细砂~中粗砂层,施工区域水位处于潜水层,底板以下0.7 m即为承压水位。为确保开挖环境安全及有效止水,采取水平导向高压喷射注浆技术进行注浆加固。

## 2 水平导向高压喷射注浆工法概述

水平导向高压喷射注浆工法首先通过水平钻机

打设注浆孔,注浆孔在打设过程中通过安装在钻头体的探棒将打设数据传输到操作台的显示屏上,作业人员根据显示屏数据可对钻孔上下、左右角度进行调整,从而确保打设精度,有效规避周围管线。注浆孔打设完成后退出钻具,改换带喷嘴的钻头送到预定深度后以大于30 MPa压力将拌制好的浆液高速喷出,喷射出的浆液在高压切削土体的同时,钻具以15~20 r/min旋转退出,高压喷出的浆液同周围土体固结后形成密闭的高强围岩体,从而起到有效的帷幕止水及拱壳保护效应。

## 3 高压喷射注浆设计

### 3.1 注浆孔位布设

沿开挖轮廓线外放30 cm布设一环高压喷射注浆孔(拱部及侧墙),孔间距设为35 cm,注浆扩散半径25 cm(实际可达27.5 cm),注浆咬合间距15 cm,左右每个导洞各设置40个孔,中洞上部设置39个孔,累计设计高压喷射注浆孔109个,具体详见图1。

### 3.2 高压喷射注浆参数设置

注浆压力 $\geq 30$  MPa;水泥单液浆水灰比1~1.2;喷射注浆转速15~20 r/min;喷射注浆半径25 cm;设计角度 $0^\circ$ ,控制精度5%;初始咬合间距15

收稿日期:2012-02-18;修回日期:2012-05-14

作者简介:郭峰(1975-),男(汉族),河南驻马店人,河南省地矿局第一地质工程院工程师、国家注册一级建造师、注册造价师,岩土工程专业,从事地基与基础、地质灾害防治及地下岩土工程工作,河南省郑州市高新区科学大道81号8层,307982880@qq.com。

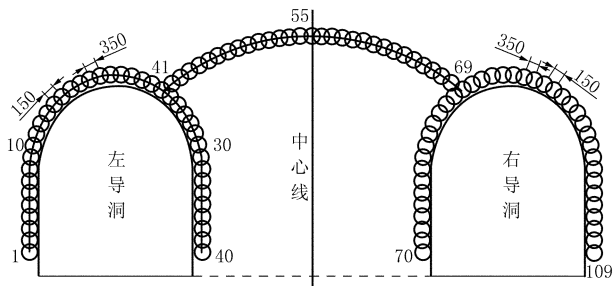


图1 高压喷射注浆布孔图

cm,终孔咬合间距12 cm。

### 3.3 喷浆量计算

$$Q = \pi [(R-r)^2 h_1 K + r^2 (h_1 + h_2)] (1 + \beta) \alpha$$

式中:  $Q$ ——设计喷浆量,  $m^3$ ;  $R$ ——喷射半径,  $m$ ;  $r$ ——钻孔半径,  $m$ ;  $h_1$ ——喷射注浆段长度,  $m$ ;  $h_2$ ——未喷浆段长度, 取  $1 \sim 1.5 m$ ;  $K$ ——填充率,  $0.75 \sim 0.9$ ;  $\beta$ ——浆液损失系数,  $0.15 \sim 0.25$ ;  $\alpha$ ——修正系数,  $1.1 \sim 1.2$ 。

经计算,该项目单孔喷浆量  $Q \geq 5.2 m^3$ 。

## 4 施工技术

### 4.1 布孔及开孔

孔位布设严格按照设计布孔图进行孔位标示,误差控制在  $2 cm$  内。采取  $\phi 133 mm$  开孔器开孔,开孔角度误差控制在  $5\%$ 。

### 4.2 注浆孔打设

钻孔采用 GD-100A 型水平钻机膨润土循环液钻进,打设角度采用 ECLIPSE 导向仪进行量测调控,钻具使用  $\phi 73 mm$  钻杆及专制导向钻头(见图2)。

图2  $\phi 73 mm$  钻杆及专制导向钻头

### 4.3 高压喷射注浆

#### 4.3.1 送入喷头体

注浆孔打设完成后退出钻具,将带有喷嘴( $\phi 2.8 \sim 3.0 mm$ )的喷头体送入已打设好的注浆孔内。喷头体送入时首先进行清水试压(压力控制在  $10 MPa$  左右),以此检验浆液拌制后台准备就绪情况及确保喷浆系统畅通;在喷头体送入过程中要确保钻具连接的密闭性。图3为导向钻头和喷头体。

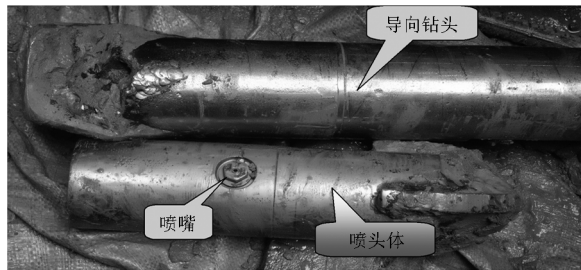


图3 导向钻头和喷头体

#### 4.3.2 浆液拌制

浆液拌制前应用清水将拌浆桶冲洗干净;浆液拌制时要按照预定水灰比( $1 \sim 1.2$ )进行拌制,确保拌制时间  $< 3 min$ ;拌制好的浆液通过污水泵抽入储浆桶时要采用不大于  $20$  目滤网进行双层过滤。

#### 4.3.3 开始喷射注浆

前台、后台互通信息确认均已准备就绪即可开始高压注浆,高压喷射注浆时后台首先稳步将压力调至  $30 MPa$ ,并记录高压泵转速( $500 \sim 800 r/min$ )与以往施工参数对照(转速与压力、喷嘴大小、流量有关);前台以  $15 r/min$  转速持续  $1 \sim 3 min$ ,待后台压力稳定后即可开始喷浆退钻。

#### 4.3.4 接续喷出

每喷完一根钻具应先通知后台停喷、泄压后方可卸管,在接续喷射注浆时要首先进尺  $0.5 m$  后方可通知后台施喷,待后台高压泵压力达到预定压力且稳定状态下方可退钻喷射注浆。在正常喷射注浆过程中始终以  $15 \sim 20 r/min$  旋转及  $15 \sim 20 cm/min$  退钻。

#### 4.3.5 终孔封堵

喷射注浆距掌子面  $1 \sim 1.5 m$  时应立即停喷,将事先准备好的棉布、麻丝等沿钻具插入注浆孔内,插入深度  $< 1 m$ 。封堵完成后注入循环液或清水,注入时间一般  $1 \sim 2 min$ ,压力控制在  $5 \sim 10 MPa$ 。封堵时间达到  $20 min$  后即可退出钻具进行清洗,如溢浆严重可采取二次封堵。

### 4.4 喷浆后清洗工作

后台每喷浆完成一个孔后应立即清洗高压泵、拌浆桶及溢浆通道,确保无浆液残渣后做好设备保护以备用。前台喷浆完成后立即清洗钻具及机台溢浆等,确保钻具清洗彻底后开始移动钻机至下一孔打设。

## 5 常见问题及处理措施

### 5.1 饱和粉细砂层易出现抱钻

首先采用钠基膨润土循环液或有机循环液钻进,还要密切关注操作台扭矩压力表,当压力达到极限值80%或骤然上升时应立即停止进尺,待反复回拖至安全状态后方可持续进尺;如涌水量很大或有较小的水压时应先进行孔口注浆或前进式注浆至1.5 m后再进行钻孔(此时应注化学浆或水泥-水玻璃双液浆)。

### 5.2 打钻过程中涌砂量较大

打钻时通过增大循环液密度,快速进尺控制出砂量;当涌砂量较大且无法控制时应立即停钻,改换喷头体后立即进行高压喷射注浆,此时根据情况可采取间歇性或反复性低压渗透注浆;注浆完成后可重新进行钻孔接续进尺。

### 5.3 喷射注浆时压力骤然升高

喷浆前搅浆桶、储浆桶的清洁及浆液过滤是关键,喷浆后高压泵清洗及钻具冲洗彻底是预防压力骤然升高的前提。另外泵工应密切关注高压泵流量及压力数值,当压力骤然升高时立即关闭流量、打开泄压阀。

### 5.4 喷射注浆过程中孔内憋压

对整体出现的情况可通过调整浆液配比、改变喷嘴大小及控制流量等措施处理;当单孔出现孔内憋压时应立即停喷并打水后退,待孔口溢浆后再接续喷出,另外在高压喷射注浆前分段进行一次低浓度循环液洗孔也是防止憋压的有效措施。

## 6 注浆效果检验

### 6.1 三维效果图模拟

根据打设过程中提供的打设参数进行三维效果模拟,效果图显示,30 m前除起拱线处没有完全咬

合外,其余位置咬合较为理想,30 m后咬合不够完全(但没有影响开挖),后在起拱线处各补打1个孔进行高压喷射注浆。

### 6.2 探测孔检测

高压喷射注浆完成后,在左右导洞各打设探测孔1个,打钻过程中未出现明显的抱钻,未出现涌水、涌砂现象,后安装泄水孔进行泄水,水流量 $< 15$  L/min,达到预期效果。

## 7 结语

该项目高压喷射注浆加固段已全部挖通,整体未出现较大的涌水、涌砂现象,周围环境未受到较大影响,仅在30 m后的不完全咬合段部分配合超前小导管补注浆进行加固,整体加固效果较为理想。饱和粉细砂通过高压喷射注浆进行超前加固取得了较好的效果,并对出现的问题进行了总结,为今后的类似项目处理提供了参考。

### 参考文献:

- [1] 王梦恕,等.中国隧道及地下工程修建技术[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [2] 张民庆,彭峰.地下工程注浆技术[M].北京:地质出版社,2008.
- [3] 孔恒.城市地下工程浅埋暗挖地层预加固理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [4] 龚晓南.地基处理技术发展展望[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [5] 叶观宝.地基加固新技术[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [6] 祝龙根,刘利民,耿乃兴.地基基础测试新技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [7] 崔双利.高压旋喷注浆技术在基坑挡土墙工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2).

(上接第68页)

触探击数由3.1提高到8.2,钻探和试验数据均表明,地基土力学性质得到显著改善,已达到加固的目的。目前该工程交付住户已有2年,未见有新的裂缝发展或沉降变形产生,加固是成功的。

击入花管注浆法加固地基相比其它地基加固方法,一是无需开挖,避免了大量的土方工作对同时在院区施工的地源热泵工程交叉影响;二是环境更加卫生、整洁,地表不会大量冒浆,保持了新建筑的环境整洁;三是不破坏基础结构,防止出现次生事故;四是施工机具灵活方便,在已建建筑中穿行方便,不破坏门窗、不增加新的修缮工作量。

本工程的实践证明,击入花管注浆法加固地基

特别适用于已建建筑物的地基处理加固,有较高的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 王赫.建筑工程事故处理手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [2] 龚晓南.地基处理手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 刘立军,宋仕兵,管延斌,等.采用综合灌浆技术加固既有建筑不良地基的实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9).
- [4] 葛文昌,赵辉.石家庄市沥青厂房屋地基注浆加固实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11).
- [5] 林青.软土地基注浆加固实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(8).