

# 型钢等厚度水泥土搅拌墙施工技术在复杂地层、 嵌岩深基坑工程中的开发应用

吴国明，章兆熊，谢兆良

(上海广大基础工程有限公司，上海 200032)

**摘要：**通过型钢等厚度水泥土搅拌墙施工技术（TRD工法）在南昌绿地中央广场的推广应用，系统介绍了该工法在复杂地层、嵌岩复合围护结构的施工工艺；验证了其具有适应地层广、搅拌均匀、隔水效果好等特点；作为绿色工法，取得了显著的综合经济效益和社会效益；对今后类似工程的施工具有一定的参考价值。

**关键词：**型钢等厚度水泥土搅拌墙；深基坑工程；嵌岩

中图分类号：TU476.3 文献标识码：A 文章编号：1000-4548(2012)S0-0393-05

**作者简介：**吴国明(1965-)，男，高级工程师。现任上海广大基础工程有限公司董事长兼总经理，长期致力于地基与基础工程施工管理和新技术的开发与应用。E-mail:gdsmw@163.com。

## Application of construction technology of steel cement-soil wall with uniform thickness in rock-socketed deep excavations in complex soil strata

WU Guo-ming, ZHANG Zhao-xiong, XIE Zhao-liang

(Shanghai Guangda foundation Engineering Co., Ltd. Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Based on the application of construction technology of steel cement-soil wall with uniform thickness (TRD method) in Greenland Central Plaza in Nanchang, the TRD method is introduced related to its application in rock-socketed composite retaining structures in complex soil strata. It is shown that the TRD method has advantages of wide adaptation to soil strata, fully mixing and good water-resisting properties and so on. As a green construction method, the TRD method has obtained remarkable comprehensive economic and social benefits. It may provide valuable reference for similar projects in the future.

**Key words:** steel cement-soil wall with uniform thickness; deep excavation; rock-socketed

## 0 引言

型钢等厚度水泥土搅拌墙施工技术将水泥土的搅拌方式由传统的垂直轴螺旋钻杆水平分层搅拌，改变为水平轴锯链式切割箱沿墙深垂直整体横向推进搅拌。具有适应地层广、墙体搅拌均匀、连续成墙、无缝连接、防渗隔水性好、型钢间距任意设定等特点。通过在南昌绿地中央广场复合围护结构的应用，为复杂地层、嵌岩地下空间开发提供了一种可供选择的新技术<sup>[1-3]</sup>。对类似工程的施工具有一定的参考价值。

## 1 工程概况

由上海绿地集团投资开发建设的南昌绿地中央广场项目集酒店、商业、娱乐、公寓等于一体。总建筑面积约为60万m<sup>2</sup>，其中两幢60层的办公楼被称之为“双子楼”，将成为南昌英雄城的新地标。本项目位于

红谷滩新区，与南昌市政府、秋水广场相邻，被列为市府一号工程。其中A-1区基坑面积约14000 m<sup>2</sup>，周长500延米，基坑开挖深度15.45~17.15 m，三层地下室，钻孔桩基础。地层自上而下为：①-1素填土、①-2杂填土、②粉质黏土、③细砂、④粗砂、⑤砂砾及⑥砂砾岩。

深基坑施工难点包括：地处城市中心，紧邻交通要道和地下管线，环境保护要求高；清障难度大，施工轴线范围内有较多的废弃建筑基础，最深达14 m；地层以砂性地层为主，层厚10.00~12.00 m，接受赣江的水力补给，渗透系数80 m/d；围护墙体穿过深厚的砂、砂砾层后，墙底需嵌入中风化砂砾岩50 cm(无侧限抗压强度q<sub>umax</sub>=8.8 MPa)，以截断基坑与坑外承

压水的水力联系。

设计采用型钢等厚度水泥土搅拌墙作为复合围护结构，墙厚 850 mm，墙深 22.3~23.3 m，密插 H700×300×13×24@600 型钢，本工程基坑总平面布置及围护结构典型剖面见图 1~2。

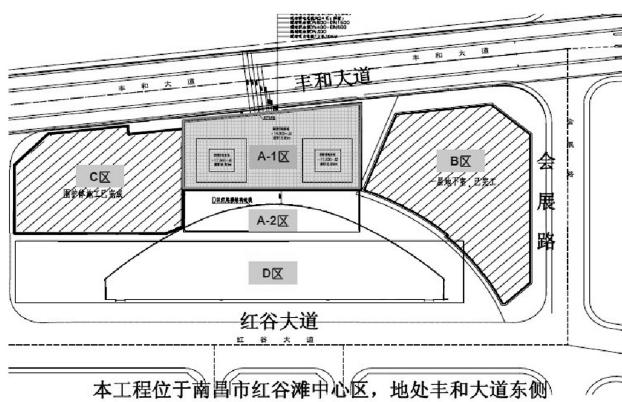


图 1 总平面图

Fig. 1 General layout

## 2 施工工艺(含难点对策)

## 2.1 成墙设备

本工程主机采用 TRD-III型机，该机由履带式主机，主、副动力箱、锯链式切割箱体、链板、刀头板、切削具及参数仪表、多段式测斜仪等组成。成墙挖掘、搅拌时通过参数仪实现了施工全过程对墙体质量的随钻监控，提供包括：实时测斜，瞬时浆液流量、泵压，切割箱推进速度，切割箱主动轮转速和扭矩，水平推进和垂直升降液压油缸压力等一系列技术参数。施工过程中垂直度偏差始终控制在 1/250 以内，切割箱墙体面内、面外最大偏移值不超过 10 cm，见图 3，4。

## 2.2 清障回填

由于施工场地靠近赣江，地势低洼，后经填高整平为建设用地，地下含有较多的废弃建筑基础。基坑围护施工前，先用三轴搅拌桩机，沿围护墙轴线范围进行探障，根据地下障碍物的埋置深度及周边环境条件，再采用挖机或加长臂挖机放坡开挖清障，设置型钢挡土墙，控制周边地下管线的不均匀沉降；探障、清障结束后，及时分层回填素土夯实，必要时对作业区土体进行压密注浆加固并铺设钢板，以满足等厚度水泥土搅拌墙工法机、起重机等重型机械安全作业和平稳移位的要求，见图 5。

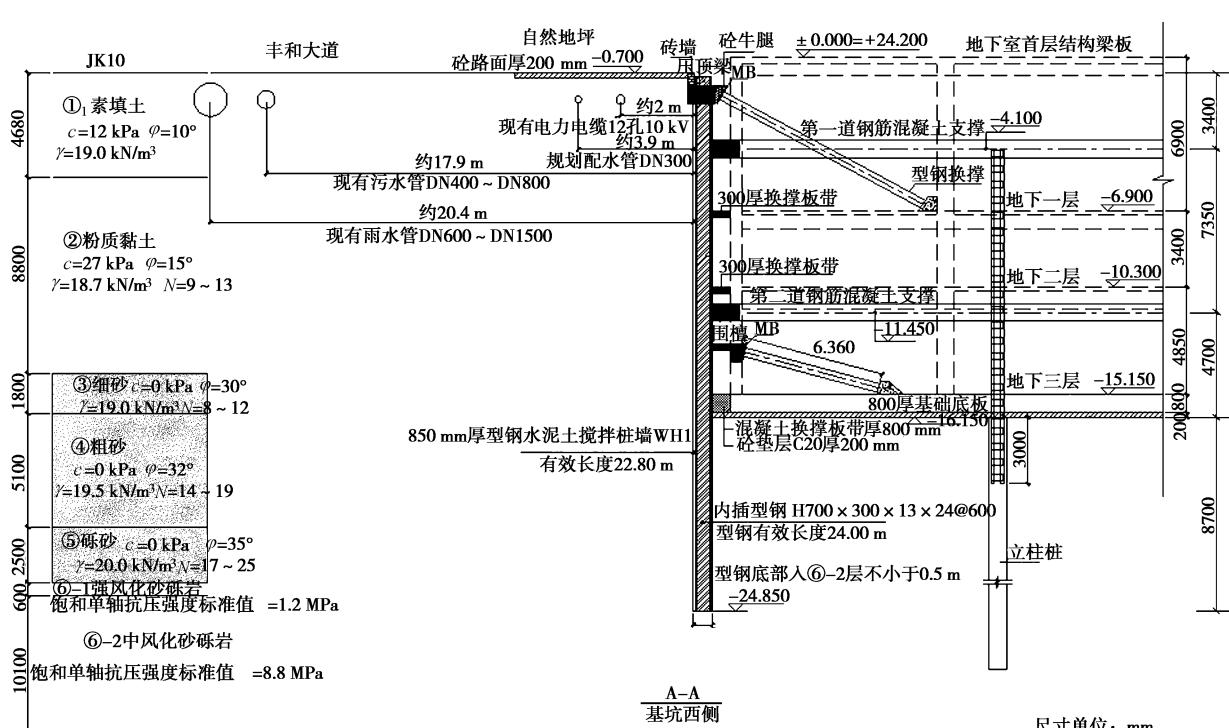


图 2 典型围护结构剖面图

Fig. 2 Typical section of retaining structures



图 3 切割箱打入挖掘

Fig. 3 Cutting box being into ground



图 4 安装测斜仪

Fig. 4 Installing inclinometer



图 5 现场清障图

Fig. 5 Removing underground obstacle

### 2.3 试成墙

本工程首先通过试成墙确定不同地质条件下的等厚度水泥土搅拌墙施工工艺, 水泥(膨润土)的用量、浆液水灰比、不同工序注浆泵工作流量、切割箱的油缸压力、切割扭矩、横向推进速度等各项施工技术参数以及搅拌桩 28 d 龄期无侧限抗压强度。本工程等厚度水泥土搅拌墙在工程墙体外的试成墙长度为 6 延米。通过试成墙确定挖掘液按每一立方被加固土体掺入膨润土 100 kg, 颗粒度调整剂 200 kg, 固化液按每一立方被加固土体掺入 P·O 42.5 级普通硅酸盐水泥 450 kg。试成墙水泥土透孔取芯 28 d 无侧限抗压强度平均值在 1.13 MPa, 满足 28 d 无侧限抗压强度标准值不小于 0.8 MPa 的设计要求。

表 1 试成墙确定的主要技术参数

Table 1 Main technology parameters

工序	水灰比 W/C	注浆流量 L/min	水平油缸 压力/kN	切割力 /kN
先行挖掘	2.5~5.0	(20~30) ×2	200~450	160~180
成墙搅拌	1.1~1.2	400×2	200~450	140~150

### 2.4 成墙工序

等厚度水泥土搅拌墙工法施工包括切割箱自行打入挖掘工序、水泥土搅拌墙成墙工序、切割箱拔出分解工序。当等厚度水泥土搅拌墙成墙施工, 锯链式切割箱先行挖掘、横向推进速度达到 2.0 m/h 时, 可直接采用注入固化液挖掘、搅拌, 一循环成墙。本工程由于墙底嵌岩, 横向推进速度较慢, 则应采用先行挖掘、回撤挖掘、成墙搅拌三循环成墙: 锯链式切割箱首先注入挖掘液(以膨润土浆液为主)先行挖掘一段距离, 然后回撤挖掘至原处, 再注入固化液(以水泥浆液为主)向前推进搅拌成墙。本工程水泥土搅拌成墙工序中先行挖掘时效 0.4~0.7 m、固化搅拌成墙时效 2.5 m, 每日工效在 8~12 m 之间, 见图 6。

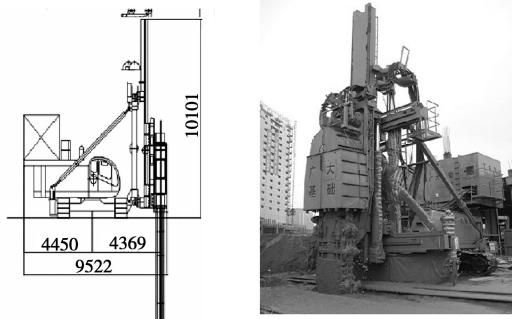


图 6 TRD-III型工法机施工

Fig. 6 TRD-III machine in construction

### 2.5 嵌岩深度判定

复杂地层、嵌岩型钢等厚度水泥土搅拌墙工法施工难度高、风险大, 施工过程中如何控制锯链式切割箱嵌入岩层深度, 确保安全作业是我们面临的挑战。根据试成墙施工经验, 对切割箱嵌入中风化砂岩深度是否达标作如下规定(图 7 为中风化砂砾岩样):

- (1) 锯链式切割箱自行打入下沉速度达到 0.012~0.015 m/min(嵌入强风化岩层);
- (2) 锯链式切割箱自行打入下沉速度达到 0.003~0.006 m/min(嵌入中风化岩层);
- (3) 锯链式切割箱水平挖掘推进速度达到 0.4~0.7 m/h;
- (4) 对上返的挖掘液混合泥浆中带出的岩样进行识别;
- (5) 对照《岩土工程勘察报告》中相应的地层剖面。

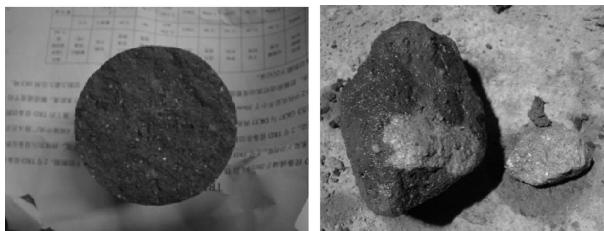


图 7 ⑥-2 层中风化砂砾岩样

Fig. 7 Coring sample in weathered sandstone

## 2.6 浆液管理

等厚度水泥土搅拌墙体施工过程中, 对浆液混合泥浆流动度的监控和调整, 对于确保墙体质量、生产效率, 防止事故举足轻重。挖掘液、固化液采用  $2\text{ m}^3$  全自动电脑计量拌浆系统进行拌制, 通过 BWT-450 无级变量泵控制不同工况下的浆液流量, 以满足不同地层对浆液混合泥浆流动度的工艺要求, 达到携渣、护壁、减阻的目的。挖掘液混合泥浆流动度在黏性土中应适当偏大, 在砂性土应适当调低, 具体参数应根据地层条件及现场试成墙后确定。本工程等厚度水泥土搅拌墙施工, 挖掘液的水灰比应控制在  $\text{W/C}=2.5\sim 5.0$ , 挖掘液混合泥浆流动度控制在  $160\sim 170\text{ mm}$ ; 固化液水灰比在  $\text{W/C}=1.1\sim 1.2$ , 固化液混合泥浆流动度控制在  $180\sim 210\text{ mm}$ 。混合泥浆流动度由专门的流动度测试仪测定, 见图 8。(挖掘液混合泥浆: 被挖掘土和挖掘液的混合物; 固化液混合泥浆: 由挖掘液混合泥浆和固化液混合而成。)



图 8 全自动拌浆系统、泥浆流动度测试

Fig. 8 Stirred slurry equipment and slurry tests

## 2.7 型钢插入

在形成一段等厚度水泥土搅拌墙体工作面之后, 方可插入 H 型钢。型钢的插入必须采用定位导向架, 在插入过程中应确保型钢垂直度, 型钢插入到位后应用钢筋悬挂构件控制型钢顶标高, 并与已插好的型钢牢固连接。型钢垂直度采用经纬仪双向控制, 水准仪进行标高定位(见图 9)。

## 2.8 事故预防

切割箱抱死或由于切割阻力过大造成切割箱链板断裂是施工中的重大事故, 严重时会造成切割箱埋死报废, 直接影响到等厚度水泥土搅拌墙体的连续性和隔水效果。由于锯链式切割箱体积庞大( $1700\text{ mm}\times$

$850\text{ mm}\times 25000\text{ mm}$ ), 绝大部分又处于地下, 因此施工中不可预见的风险极大, 为防止事故的发生, 最重要的措施是对挖掘液混合泥浆流动度的合理调控。在黏性土中施工, 过低的挖掘液混合泥浆流动度, 会使搅拌土过于黏稠, 造成锯链式切割箱和刀具包泥, 切割阻力增大, 影响挖掘效率和作业安全。在砂性土中要调低挖掘液混合泥浆流动度, 必要时还需在挖掘液中添加颗粒度调整材料和增黏剂, 达到提高黏度, 减少失水, 降低固液分离, 保持良好流动性的目的。防止由于固液分离造成砂粒重新堆积, 体积膨胀, 形成压缩拱, 对切割箱及刀具组合产生过大的阻力。此外施工过程中还须加强对锯链式切割箱的定期检查及维修, 及时更换磨损的链板、刀头板及刀具, 配置应急备用发电机组和大型吊机, 制定应急预案, 防患于未然。



图 9 H 型钢加工及插入图

Fig. 9 H-shaped steel processing and inserting

## 3 基坑开挖及环境保护

2011年4月底, 开始采用分层、分块、对称、限时, 中心岛式土方开挖。基坑开挖的全过程, 墙体平整, 未发现渗漏水现象, 工程墙体水泥土透孔取芯 28 d 无侧限抗压强度平均值在  $1.28\text{ MPa}$ , 完全满足 28 d 无侧限抗压强度标准值不小于  $0.8\text{ MPa}$  的设计要求。

等厚度水泥土搅拌墙施工及基坑开挖期间监测项目包含: 道路、建筑物、管线、墙(土)体及立柱桩位移监测、支撑轴力监测、坑外地下水位监测等项目。监测数据均在允许范围以内, 其中管线、道路最大累计沉降  $18.1\text{ mm}$ , 围护墙体最大累计水平位移  $5.0\text{ mm}$ , 混凝土支撑最大轴力  $691.1\text{ kN}$ , 周围建筑物未出现沉降, 汛期坑外地下水位最大累计上升  $820\text{ mm}$ , 见图 10。

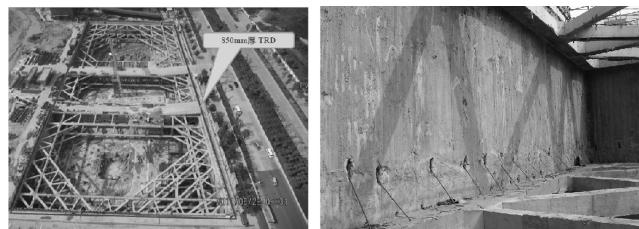


图 10 基坑开挖图

Fig. 10 Photo of excavation in construction

## 4 结语

我国《建设行业重大技术装备研制和国产化工作“十五”计划和15年规划》将型钢等厚度水泥土搅拌墙施工工艺列为地下工程机械的开发重点和主要工作任务之一。2011年通过对南昌绿地中央广场复杂地层、嵌岩、型钢等厚度水泥土搅拌墙复合围护结构的施工实践,充分验证了该工法所具有的技术特点,实现了挖掘、搅拌成墙施工,水泥土质量的全过程实时监控。试成墙和工程墙体浆液取样及钻孔取芯检测表明:试块、芯样28 d水泥土搅拌均匀,墙体分层强度离散性小,开挖期间围护墙体变形在允许范围以内,防渗隔水效果良好,完全满足设计和工程的要求。随着型钢等厚度水泥土搅拌墙施工技术,在天津、南昌、上海、杭州、江苏等各地,不同地质条件下,工程项目的开发和推广应用,必将为满足复杂地层地下空间

“更深、更快、更强”的发展需要,提供一种可供选择的施工新技术。

### 参考文献:

- [1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册 [M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation engineering manual[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009. (in Chinese))
- [2] JGJ/T199—2010 型钢水泥土搅拌墙技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (JGJ/T199—2010 Technical specification for soil mixed wall[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010. (in Chinese))
- [3] 日本 TRD 工法协会. TRD 工法技术资料[C]. 东京: TRD 工法协会, 2008. (Japan TRD Association. Technical imformation on TRD engineering methods[C]. Tokyo: TRD Association, 2008. (in Chinese))

(本文责编 明经平)