

Application of TRD method in complex geological conditions of deep soft soil with abundant water and land interaction

Yuzhang Cui

Guangzhou Metro Construction Management Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

Compared with similar techniques such as high-pressure jet grouting piles, triaxial mixing piles, and SMW (Shaft Movable Wall), TRD (Trench Excavation and Reinforcement) demonstrates significant advantages including enhanced safety, superior excavation capacity, excellent water sealing performance, continuous construction, homogeneous wall formation, reliable quality, reduced environmental impact, lower construction noise, and minimal auxiliary equipment requirements. This paper details the application of TRD in a coastal region of Guangdong Province with complex geological conditions featuring deep interbedded soft soil. Wall integrity inspection results indicate that under these challenging geological conditions, TRD not only serves as an auxiliary reinforcement method for underground continuous walls but also effectively prevents water seepage during subsequent ultra-deep foundation pit excavation and shield tunneling acceptance, providing valuable reference experience for similar engineering projects.

Keywords

TRD; deep soft soil; water sealing effect

TRD 工法在海陆交互富水深厚软土复杂地质条件中的应用

崔玉章

广州地铁建设管理有限公司, 中国 · 广东 广州 510000

摘 要

TRD工法与相类似的高压旋喷桩、三轴搅拌桩以及SMW等工法相比, TRD工法具有安全性高、掘削能力强、止水性好、连续性强、墙体均质性好、质量可靠、对环境污染小、施工噪声小、附属设备少等诸多显著优势。本文详细介绍了TRD工法在广东某沿海地区海陆交互深厚富水软土复杂地质条件中的应用, 成墙检测结果表明在上述复杂地质条件下, 采用TRD工法, 不仅作为槽壁加固辅助地下连续墙施工, 对后期超深基坑开挖以及盾构接收均起到良好的止水效果, 为类似工程提供参考经验。

关键词

TRD工法; 深厚软土; 止水效果

1 引言

TRD (Trench cutting Re-mixing Deep wall) 工法, 又称渠式水泥土地下连续墙施工工法, 是利用锯链式切削刀具进行渠式等厚度水泥土地下连续墙的施工技术, 其主要工艺分为链锯型切削刀具纵向和横向切削土体、注浆搅拌和水平推进构筑 3 个主要工序, 由此形成无缝连续的渠式等厚度水泥土地下连续墙^[1]。与其它工法相比, TRD 施工深度大, 最大深度可达 70m。这一深度优势使其能满足多种复杂工程对地下结构施工深度的需求。

2 工法原理

TRD 工法(等厚度水泥土地下连续墙施工技术)的核

心在于运用锯链式切割箱实现连续成墙。区别于传统单轴或多轴螺旋钻机形成的桩列式水泥土地下连续墙, 该工法在切割箱插入地基时即与主机相连。其链锯式刀具可进行垂直或水平方向的移动切削土体, 并同步注入水泥基硬化剂^[1]。通过刀具在施工现场按照设计深度和护壁设计宽度将土体切割, 在刀具端头喷出水泥浆硬化剂注入土体的同时注入高压空气使水泥浆与原位土体充分混合、搅拌将原位土体固结从而在地下形成一道等厚度的连续墙^[2]。

3 工程实例

3.1 工程概况

广州地铁某盾构井采用明挖施工, 为地下一层框架结构, 长 23m, 宽 33m, 基坑深 44m。地连墙厚度 1.2m, 支护结构采用 9 道砼支撑+1 道钢换撑, 嵌固中风化岩层深度约 12m (如图 1), 基坑安全等级为一级。

【作者简介】崔玉章(1981-), 男, 中国河南汝南人, 本科, 高级工程师, 从事轨道交通建设管理研究。

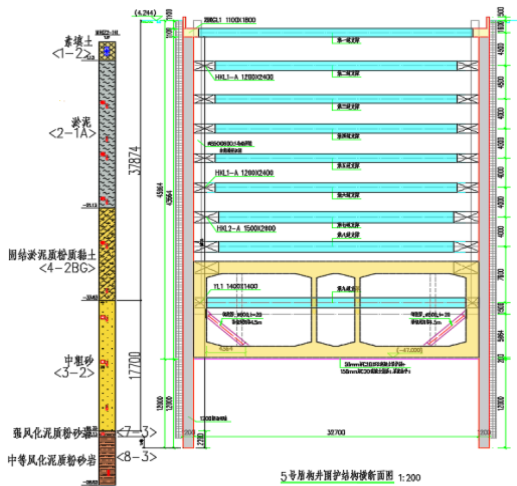


图 1：盾构井围护结构主体结构剖面图

3.2 地质情况

该盾构井两端接收，地层位于海陆交互深厚富水软土复杂地质，淤泥、淤泥质土层深厚，欠固结比例高，软土沉

积年代较短，工程地质条件复杂，地层分布及特征如表 1 所示，为富水深厚软土，其中淤泥层最厚达 20m，渗透性较大的淤泥质粉细砂层厚度达 2m，复杂的水文地质条件对基坑支护结构的刚度和止水效果有严格要求。

3.3 水文及气候情况

场地地表水发育，场内地下水按照赋存条件，主要分为第四系松散层孔隙水、基岩裂隙水（块状）等两种类型。地下水主要由地表水下渗而成，与地表水具有直接的补给、排泄关系。夏秋为雨季，降水较为丰沛，为明显季节性降水特征，雨季期间会导致地下水位升高；秋冬季降雨减少，地下水位回落，年内水位波动幅度约 1-2 米。

场地位于广州市南沙区，该区域属南亚热带季风气候区，具有日照时间长、热量条件优越、夏季漫长无严寒、年降水量大且旱雨季分明等特点。同时，热带气旋、强降雨、洪涝灾害以及低温阴雨天气也较为多发。终年气温较高，年平均气温为 21 ~ 23℃。区域年降水量在 1900 ~ 2100mm 之间，雨量主要集中在 4 ~ 9 月，约占年雨量 80 % 以上，在 4 ~ 9 月降雨量占全年雨量 20 % 左右。

表 1：主要土层物理力学指标

土层名称	平均厚度（m）	含水率（%）	孔隙比	湿密度（g/cm ³ ）	凝聚力（kPa）	内摩擦角（°）
素填土 <1-2>	3.67	23.7	0.705	1.96	13.57	13.02
淤泥层 <2-1A>	11.09	58.5	1.595	1.61	6.08	4.72
淤泥质土层 <2-1B>	6.85	46.9	1.264	1.71	7.74	8.09
淤泥质粉质黏土 <4-2BG>	7.58	39.2	1.078	1.79	13.42	12.25

4 施工流程

4.1 开挖沟槽

利用挖机开挖施工沟槽，沟槽宽度与深度均为 1m，吊放预埋箱。切割箱分段吊装至预设孔位（预埋箱）内，待整体组装完毕，对预埋箱孔进行回填处理。

4.2 桩机调整

于施工场地一侧布设基准线，据此引导和调整 TRD 主机位置。主机移动前需全面观察四周及高空环境，及时清除障碍物；就位后需复核定位精度并校正主机水平状态。

4.3 主机连接

切割箱分段吊装就位后，主机移位至其上方进行连接。随后主机携切割箱返回预定桩位，完成切割箱的最终组装。接着驱动切割箱垂直下切至设计深度，并在箱内安装多段式测斜仪。该仪器可实时监测墙体垂直度，并与主机联动实现自动纠偏。

4.4 加固成墙

向切割箱底部注入挖掘液，推进切割一段距离；然后回撤至起始点，同步注入固化液。挖掘液与固化液在土层中被强制搅拌混合，最终形成均匀的等厚度水泥土搅拌连续墙体。以后类似循环。

5 施工参数

针对 54.6m 深墙体设计，切割箱组合配置为：底端 1

节 3.655m 被动轮节，其上连接 13 节标准 3.655m 切割箱节，顶部辅以 1~2 节调整节，总组装长度 54.8m，确保有效加固深度。

为形成 800mm 厚墙体，选用 400mm 宽刀具，按菱形循环模式排列。刀排间距 1.2m，组合使用 400mm-800mm（共 9 种规格）刀具，实现全断面土体切割。

水泥掺量及水灰比等关键参数依据墙体性能需求和地层特性经现场试验确定。水泥掺入比 25%。固化液按比重 1.37、水灰比 1.5 配制，其用水量与水泥用量均采用电脑自动计量系统精确控制。

墙体技术指标要求：28 天龄期无侧限抗压强度标准值 ≥1MPa，渗透系数 ≤1 × 10⁻⁷cm/s。

施工精度控制标准：墙体中心线允许偏差 ≤±25mm，宽度偏差 ≤±30mm，垂直度偏差 ≤1/250。桩位放样误差 <20mm，深度误差 <+100mm。墙体垂直度按设计严格控制，偏差不大于墙深的 0.5%。

6 质量控制

TRD 主机现场组装后，需利用全站仪在相互垂直的两个方向上校验导杆垂直度。

由于本工程为超深墙体加高防渗要求工况，采用三步施工法（预切、回切、成墙搅拌），即通过切割、搅拌、混合，先行挖掘→回撤挖掘→搭接成型 0.3~0.5m →成墙搅拌，

重复以上步骤。

切割液的配合比应结合土质条件和机械性能指标通过试验确定。切割液应具备下列要求：具备适度的流动性；沁水较小；砂砾成分的下沉较小。

相邻墙体搭接施工时，须严格控制搭接质量。每次注浆终止点需做好定位标记，确保搭接长度在 300~500mm 范围内。施工转角时，需将切割箱提出，调整方向后重新向下切削到设计标高，并注意搭接部位要增加注浆料，确保完全搭接。为保证 TRD 工法水泥土搅拌桩在转角处的成墙质量和防水性，转角处每个方向的 TRD 工法水泥土搅拌桩需各向外延伸 500mm。

必须对原位土体进行充分切割与搅拌，确保其充分破碎，以利于水泥浆液与土体均匀混合，保障成墙质量。

施工过程中对 TF 值（泥浆流动度）进行监控和调整，应达到以下目的：确保挖掘液混合泥浆具有良好的流动度；减少土分离，控制固相分离；加快成墙速度，减少置换土量。

注浆质量控制要点：切割箱下沉及水平移动过程中，应保证其全程注入水泥浆液。水泥浆液的制备与输送须使用自动拌浆系统，以保证水灰比和水泥掺量稳定。施工过程中要实时检查施工参数（水灰比、水泥掺量）、浆液拌制与注入量要求、加固土体方量换算关系，以及注浆压力控制范围等。

7 安全文明环保要求

当施工点周边有需要保护的對象时，应控制切割机的推进速度，减小成墙过程对环境的影响。对施工过程中造成的植被破坏和土地扰动等进行恢复和治理，保护生态环境。

施工产生的水泥土浆液，应严格依照相关环保规定进行后续处理。施工结束后，及时清理施工现场，将废弃的水泥浆液、渣土等废弃物运至指定的处理场所，避免对环境造成污染。

未设置混凝土导墙时，沟槽两侧应铺设路基箱或钢板。

8 效果分析

8.1 施工功效

TRD 工法一次切割长度 15-16m；预计 8-10 个小时，速度 30-40mm/ 分；回撤 4 个小时，速度 80-100mm/ 分；注浆时速度 30-40mm/ 分，约 12-13m 范围，预计 8 个小时，综合工效约 12m/ 天（如表 2）。

施工到位后，拔切割箱、重新插入切割箱需要 3 ~ 4 天，装切割箱 1 个 /2h，且越深越费时；拆切割箱 2 个 /h，越到底部越费时。

8.2 质量功效

现场抽芯样品如图 2，28d 无侧限抗压强度如表 2，不同位置芯样抗压强度以及不同深度的渗流系数可知，抗压、抗渗满足要求，开挖过程中，无渗漏水，表明 TRD 加固取得了良好的效果。

表 2: 芯样抗压强度表

位置	直径 × 高度 (mm)	龄期 /d	部位	强度 /MPa
1# 点	94 × 94	153	上	3.62
			中	5.01
			下	3.79
2# 点	94 × 94	149	上	3.15
			中	4.88
			下	4.61



图 2: TRD 芯样图

9 结论

富水砂层适配性突出，TRD 工法通过水平轴锯链式整体搅拌，形成连续等厚墙体（渗透系数 $\leq 10^{-7} \text{cm/s}$ ），有效解决富水砂层渗透性强、易渗漏难题，开挖过程无渗漏，止水性能良好。

超深基坑支护可靠，最大施工深度达 55m，墙体均质性好、垂直精度高，结合内支撑体系，保障 44m 超深基坑稳定，满足一级安全等级要求。

复杂地质适应性强，针对深厚淤泥及交互地层，通过优化切割参数（菱形刀具布局）、三步施工法及转角延伸工艺，确保墙体连续性与防渗效果。

该工法相对高效（日成墙约 12m）、且质量可控，为类似海陆交互富水软土区超深工程提供参考，并可结合自动化监测与绿色施工等方向持续深化研究。

该工法安全稳定，连续成墙，基坑的实施过程和监测结果表明，基坑支护结构的深层水平位移和周边地面沉降均处于合理可控范围。

参考文献

[1] 王一兆. 广州地区复杂地层深基坑工程TRD工法的设计与实践: 广东土木与建筑》，2024

[2] 《渠式切割水泥土连续墙技术规程》,JGJ/T303-2013

[3] 王卫东. 56m深TRD工法搅拌墙在深厚承压含水层中的成墙试验研究 [J]. 岩土力学，2014