

长大深基坑止水帷幕绿色施工技术研究

焦虎军

中铁十七局集团第二工程有限公司 陕西 西安 710021

摘要：在长大深基坑中，止水帷幕需穿透多层承压水，承压水带来的基坑突涌风险加大，确保基坑安全是隧道风险管控的重中之重，止水帷幕施工质量为本标段控制性工程及重难点工程。

关键词：深基坑；止水帷幕；TRD工法；环保；置换土

1 前言

当前国内国际经济持续高速增长，城市化进程不断提速，地面空间资源日益紧张，各城市地铁的建设如火如荼的进行着，深基坑工程作为地铁建设及其他大型地下工程的关键部分，其重要性不言而喻。然而，在富含水砂性地层中进行深基坑开挖，面临着围护结构施工难度大、承压水控制复杂、地面沉降风险高等挑战。为满足“深、快、强”的施工要求，确保基坑及周边环境安全，TRD（Trench-cutting and Replacement Drilling）水泥土地下连续墙工法作为一种创新的基坑支护与加固止水技术，逐渐受到业界的广泛关注和应用。本文以雄安地下段项目为依托，对长大深基坑止水帷幕深基坑绿色施工技术做一阐述。

2 概述

2.1 工程概况

雄保DK116+410~+116+500、雄保DK117+020~+119+800段为雄安隧道内施工段落。本段采用放坡+钻孔灌注桩+首道混凝土撑+钢支撑支护形式，放坡坡面采用网喷混凝土+土钉支护，坑内设混合井。

本段围护桩段采用止水帷幕+坑内降水的方式进行降水，疏干降水井采用坑内降水，单侧纵向间距12m。止水帷幕采用80cm厚35m深水泥土搅拌墙，紧贴灌注桩外边缘打设，要求搅拌墙水泥掺量不小于25%，设计要求止水帷幕渗透系数 $\leq 10^{-7}$ cm/s。

2.2 水文地质条件

雄安新区，作为中国新时代高质量发展的全国样板城市，其地理位置独特，位于山前倾斜平原，这一特定的地质背景赋予了该地区独特的水文地质特征。这些特征主要体现在含水层岩性分布、地下水埋藏条件、排泄径流特性以及地下水动态水化学水平分带上，对地下水的开发利用和保护提出了特殊要求。雄安新区的浅层地下水主要由潜水和浅层承压水组成，这两类水的含水层岩性以中、细、粉、粉细砂为主，这些岩性特征决定

了地下水的渗透性和储存能力。含水层厚度通常小于40米，底界深度在150米至180米之间，这一深度范围对于地下水的开采和利用具有重要影响。研究区大部分地区属于中等富水区，单井涌水量在1000立方米/天至3000立方米/天之间；而在安新县西北角和雄县东部等局部地区，则为弱富水区，单井涌水量较低。深层地下水以承压水形式存在，其含水层岩性主要为粗、中、细砂，这些岩性提供了良好的储水条件。

3 TRD工法施工原理及特点

3.1 TRD工法施工原理

TRD工法是一种施工技术，它涉及将链式切割箱深入土层，并利用链式切削器的旋转动作，在水平方向上连续挖掘形成均匀厚度的沟槽。在此过程中，固化水泥浆液会从切削器的末端喷出，与挖掘出的土壤在原位进行充分混合搅拌，最终构筑成连续的水泥土地下墙体。这种方法的特点是成槽与搅拌作业连续进行，无需分段施工，确保了墙体的完整连续性。由此，它克服了传统施工方法因分槽段施工而在槽孔搭接处可能产生的结构薄弱问题^[1]。

TRD工法施工原理见图3-1。

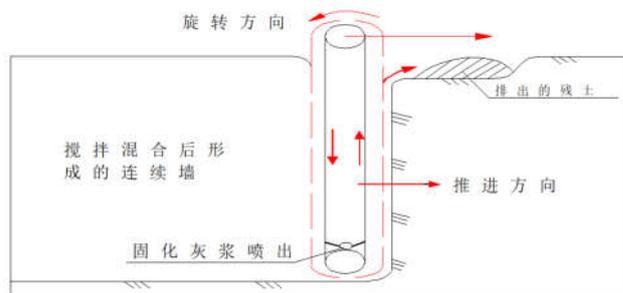


图3-1 TRD工法施工原理图

3.2 TRD水泥土搅拌墙施工特点

(1) TRD工法与传统的柱列式地下连续墙不同，它采用地基中原位置改良泥土建造地下连续墙体。

(2) 支护体系安全可靠：TRD工法通过链锯式切割

箱在垂直方向进行连续切割和搅拌，土体和水泥浆在切割箱内得到充分混合和搅拌，确保土体在垂直方向上得到均匀混合，所形成的墙体在质量非常均匀、没有明显离散性，上下等宽连续，有助于提高形成墙体的稳定性和承载力。

(3) 止水性能强：切割箱连续横向搅拌混合均匀，解决了前后幅接口问题，保证了止水帷幕墙的整体性，其止水性能得到有效保障。

(4) TRD工法切削搅拌同步进行，免用泥浆固壁，提高工程施工效率。

(5) TRD工法整体切削性能好，垂直度控制精度高。

(6) TRD工法施工机械的高度低、重心稳，且刀具箱直接插入土中，因此该工法在施工过程中的稳定性非常好。即使在复杂的地质条件下，也能够保持稳定的施工状态，确保墙体的质量和施工效率。

(7) 施工土质无限制：施工设备的掘削性能高，对于卵石层、风化岩层等特殊地质，可采用特殊刀具进行掘削，确保TRD工法具备在任何土层施工的可能性^[2]。

(8) 低噪音、低振动。

3.3 TRD施工工艺

TRD水泥土搅拌墙施工工序为三步法：先行挖掘、回撤挖掘、成墙搅拌，锯链式切割箱钻至设定深度后，首先注入挖掘液先行挖掘、松动土层一定距离，然后回撤挖掘至原处，再注入固化液向前推进搅拌成墙^[3]。

3.4 TRD水泥土搅拌墙施工参数

(1) 挖掘液拌制参数

材料：采用钠基膨润土。每立方土体宜掺入100kg左右钠基膨润土。施工过程中通常按1000kg水：200kg膨润土的比例配置浆液。但请注意，具体的水灰比可能因工程实际情况和地层条件而有所调整。挖掘液混合泥浆的流动度宜控制在190mm~240mm，以确保其在地层中的良好渗透和混合效果。

(2) 挖掘液使用

切割箱打入工序：使用挖掘液以帮助切割箱顺利打入地层。

先行挖掘工序：在先行挖掘过程中，注入挖掘液以切割土体并形成初始开挖槽。

回撤挖掘工序：根据浆液流动度适当注入一定数量的挖掘液，以保持土体的湿润和易于搅拌为宜。

(3) 固化液拌制参数

采用P.O42.5级普通硅酸盐水泥。每立方被搅拌土体掺入不少于25%的水泥，以确保墙体的强度和抗渗透。一般水灰比为1.5，具体的水灰比可能因工程实际情况和

地层条件而有所调整。固化液混合泥浆的流动度宜控制在200±20mm，以确保其与切割土体充分混合和整体均匀性。

4 TRD止水搅拌墙施工方法及工艺流程

4.1 TRD施工工法流程

本工程TRD工法止水帷幕采用三步循环法施工等厚度水泥土搅拌墙，以下为三步循环的TRD工法工序流程示意图4-1：

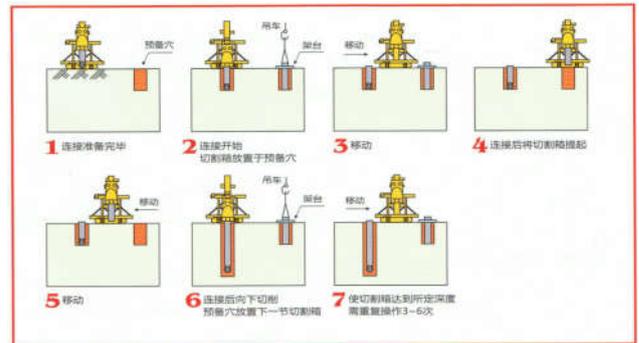


图4-1 TRD工法工序流程示意图

4.2 TRD止水搅拌墙施工方法

4.2.1 测量放线

综合考虑止水帷幕与围护桩施工工艺，按最不利考虑，止水帷幕按设计位置外放10cm，同时做好护桩，设置成墙控制线。

4.2.2 导向槽开挖

施工前用挖掘机沿止水帷幕墙中心线方向开挖工作沟槽，沟槽宽度和深度根据设备导向工作宽度、深度确定，一般沟槽宽度1.4m，沟槽深度1.2m。

4.2.3 吊放预埋箱

利用挖掘机沿止水帷幕墙中心线开挖一预埋穴，其尺寸满足现场施工为宜。采用吊装设备将预埋箱吊放入穴内，便于切割箱和开槽设备连接，其四周采用素土夯填密实。

4.2.4 桩机就位

桩机就位时由专人指挥，设备移动前看清周边情况，若发现障碍物，需及时清除，就位结束后检查钻机定位情况，若发现偏位要及时纠正，确保桩机稳固安全。

4.2.5 切割箱与主机连接

使用指定的履带式吊车，将切割箱逐段吊放入预先挖好的预埋穴中。这一步骤需要精确操作，以确保切割箱能够准确放置在预定位置；利用支撑台将切割箱固定，以防止在施工过程中发生移动或倾斜；TRD主机移动至预埋穴位置，与切割箱进行连接；连接完毕后，主机整体移动至预施工位置，准备后续工序。

4.2.6 安装斜测仪

在切割箱自行打入至设计深度后,安装测斜仪。测斜仪通常安装在切割箱内部,以便进行止水帷幕墙体垂直度控制。通过安装在切割箱内部的多段式测斜仪,可以监测墙体的垂直精度。

4.2.7 TRD工法成墙

采用TRD主机预先切割土层一段距离,然后在切割箱底部注入挖掘液。这一步骤有助于软化土体,便于后续的搅拌和混合。

切割箱回撤至原处,此时挖掘液与土体混合形成泥浆,开始注入水泥浆混合搅拌。固化液与土体的混合搅拌是形成等厚度水泥土搅拌墙的关键步骤。

混合土体和水泥浆液经过充分的搅拌混合,形成等厚度的水泥土墙。这种墙体具有很好的均质性和连续性,能够满足工程的防水等要求。

TRD工法采用三工序成墙,完成一段墙体施工后,在进行切割箱操作时,必须执行退避挖掘和退避养生两个步骤。首先,切割箱需后退挖掘1米,并在此过程中注入清水,用于冲洗注浆管道。待管道冲洗干净后,再注入挖掘液。随后,切割箱再次后退挖掘1米。当切割箱距离已成型墙体达到2米时,需进行泥浆护壁处理,并让切割箱进行30分钟的养生。完成这些步骤后,方可进入下一轮的施工循环^[4]。

4.2.8 拔出切割箱

在工作面施工完成后,将切割箱分段依次拔出。这一步骤需要精确控制拔出时间,以确保施工进度和工程质量。时间应控制在4小时以内,以避免因拔出时间过长而导致的土体变形或失稳。在拔出过程中,应密切关注土体的反应和切割箱的状态,确保拔出过程平稳、顺利。施工完成结束后,在切割箱预定起拔区域注入同配比的水泥浆。这一步骤是为了进一步加固墙体,提高墙体的整体性和稳定性。注浆过程中,应边起拔边注浆,确保注浆的均匀性和密实性。注浆压力和注浆速度应根据工程要求进行严格控制,以避免对墙体造成不必要的损害。

4.2.9 清理现场

施工时随施工作业面开挖土质泥浆池,将施工过程中产生的废弃泥浆统一堆放在泥浆池内,待浆液固结后准运至临时堆土场集中堆放;将现场时产生的多余的置换土及泥浆及时处理,避免污染环境和水源。

4.2.10 成墙检测

TRD水泥土搅拌墙施工完成28天后,采用钻芯取样检测确定其施工质量。

4.2.11 实施效果

雄安新区地下段配套工程项目隧道工程深基坑采用TRD水泥土搅拌墙作为止水帷幕,根据试验检测,其渗透系数为 $9.1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$,表现出较强的抗渗效果。在基坑开挖过程中,基坑未出现渗漏水现象,达到了预计效果,实施效果图详见图4-2所示,TRD水泥土搅拌墙作为富水砂层地区的止水帷幕,有效的确保了深基坑结构施工安全。



图4-2 TRD工法实施效果图

结束语

TRD水泥土地下连续墙克服了地质条件复杂、承压水水位高等不利条件,为高承压水粉细砂地层明洞开挖创造了有利条件,为整个工程目标节点的实现提供了有利的保障,确保了结构施工安全。同时也为后序工程的全面展开创造了有利条件,施工进度、质量、安全都取得良好的信誉,具有一定推广价值。

参考文献

- [1]文鹏,许伟光,董娅男,等.高层建筑基坑止水帷幕施工技术研究进展[J/OL].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(10)[2024-09-29].
- [2]周璞基.超深基坑止水帷幕与排桩支护施工技术研究[J].江西建材,2023,(01).
- [3]刘守伟.某区建筑深基坑帷幕注浆止水施工技术[J].大众科学,2024,45(20):79-81.
- [4]张勇.深基坑工程止水帷幕TRD施工技术的应用[J].石材,2024,(11):40-42.