

渠式切割水泥土连续墙 (TRD 工法) 及其工程应用

孙立宝

(浙江有色建设工程有限公司天津分公司, 天津 300092)

摘要:渠式切割水泥土连续墙(简称 TRD 工法)是近几年从国外引进的一种新型地下水水泥土墙的施工方法。结合工程实例,对 TRD 工法的成墙原理、施工工艺、施工要点、适用范围等进行了介绍,并对 TRD 工法在实际应用中的优缺点进行了分析。工程实践证明,TRD 工法在基坑工程挡土及隔渗止水方面具有明显的技术优势。

关键词:渠式切割;水泥土连续墙;基坑工程;TRD 工法

中图分类号:TU753 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2014)04-0071-05

Trench Cutting Re-mixing Deep Wall (TRD Method) and Its Engineering Application/SUN Li-bao (Zhejiang Non-ferrous Construction Engineering Co., Ltd., Tianjin 300092, China)

Abstract: Trench cutting re-mixing deep wall (TRD method) is a new construction method introduced from abroad in recent years. In this paper, combining engineering case, TRD method is introduced about its wall construction theory, construction technology, main points of construction and the application scope and the analysis is made on its advantages and disadvantages in practice application. The engineering practice proves that TRD method has obvious technical superiority in retaining and seepage prevention of foundation pit engineering.

Key words: trench cutting; re-mixing deep wall; foundation pit engineering; TRD method

随着我国城市建设的快速发展,地下空间工程不断增加,超深、超大基坑工程越来越多。各种深基坑围护措施,无论是地下连续墙还是 SMW 工法都不是连续施工的,都存在着施工单元间的接合问题。深基坑工程中对地下水的控制要比对变形的控制难度大,近几年出现了多起深基坑中突涌、流砂、渗漏水事故,所以良好的隔水措施是深基坑工程安全的前提。在以往的深基坑围护中,或是地下连续墙直接隔水,或是水泥搅拌桩形成止水帷幕墙,水泥搅拌桩通常采用多轴竖向施工,形成圆柱形的桩体。

渠式切割水泥土连续墙技术(TRD 工法)是我国从日本引进,并结合国内工程实践改进后形成的一种新型的水泥土墙施工工艺。该工艺能在土体真正形成一道厚度相同的平板墙,而且可以连续成墙。

1 TRD 工法介绍

渠式切割水泥土连续墙(Trench cutting re-mixing deep wall,简称 TRD)是一种新型的地下水水泥土墙的施工方法,通过链状刀具的横向移动和转动,对地基土体进行渠式切割与上下搅拌,并与注入的水泥固化液混合而形成的水泥土地下墙体。TRD 工法 1994 年在日本问世,并得到了迅速推广。2009 年杭州某公司引进了我国首台 TRD 工法桩机,开始

在我国应用。目前在浙江、上海、天津、江西、辽宁等地都有施工案例,应用于各类房屋建筑、地铁、隧道、江河堤坝等深基坑工程中,取得了较好的社会和经济效益。国内越来越多的地区在深基坑工程中采用这种渠式切割水泥土连续墙施工技术。

TRD 工法已经被列为我国国家级的新技术推广项目,2013 年 7 月,住房和城乡建设部发布公告,批准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》(JGJ/T 303-2013)为行业标准,意味着该工法正式纳入行业管理。

TRD 工法主要特点是施工深度大、安全性强、节约成本、保护环境、质量可靠,适用于深基坑、水库江河堤坝、垃圾填埋场等工程的挡土止水、地基加固等。

2 主要施工设备

国内 TRD 工法的施工设备最早为日本进口,每台价格为人民币 2000 万元左右。目前国内已有工程机械厂在生产制造 TRD 工法施工设备,每台售价为人民币 1300~1500 万元。国产设备与进口设备大同小异,施工工艺几乎一样,性能上也相差不多。图 1、图 2 分别为进口和国产设备。

渠式切割水泥土墙施工机械由主机、切割系统、注浆泵组成。

收稿日期:2013-09-11

作者简介:孙立宝(1970-),男(汉族),黑龙江人,浙江有色建设工程有限公司天津分公司总工程师、高级工程师,岩土工程专业,从事岩土工程的勘察、设计与施工管理工作,天津市红桥区三条石大街尚都家园 1-1202,suntj66@163.com。



图1 进口的神钢 TRD-III 型施工设备



图2 上海工程机械厂生产的 TRD-D 型施工设备

主机包括底盘系统、动力系统、操作系统、机架系统。主机底盘下设履带,用2条履带板行走,底盘上承载主机设备。动力系统包括液压和电力驱动系统。操作系统包括计算机操作系统、操作传动杆以及各类仪器仪表。机架系统在履带底盘上设置有竖向导向架和横向门型框架。横向门型框架上下设有2条滑轨,下滑轨铰接于主机底盘上,上滑轨由背部的液压装置支撑锁定于垂直位置上。根据待建设墙体的需要,门型框架通过液压杆可在 $90^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 范围内旋转,从而进行与水平面最小成 30° 的斜墙施工。

切割系统由刀具立柱、刀具链条、刀头底板和刀头组成。刀具立柱设置于渠式切割机机架内,其上安装刀具链条。刀具链条由链节组成,相邻刀具链节为活动连接。刀头底板位于刀具链节上,宽度 $325 \sim 875$ mm不等。切割机通过改变刀头宽度,形成宽度范围为 $450 \sim 850$ mm的水泥土连续墙。

3 成墙工艺原理

TRD工法成墙是利用TRD工法主机,将刀具立柱在水平方向紧压向地基土,通过刀具链条的转动对地基土进行切削,切削土与固化液进行混合,在原位的开挖沟中进行固化施工。通过刀具立柱的横向移动、刀具链条上刀头对地基土的切削开挖,同时垂直方向上进行固化液与切削地基土的混合与搅拌,

形成墙壁状的固化体——水泥土地下连续墙,也可插入型钢以增加水泥土墙的刚度和强度。图3为TRD工法施工原理图。

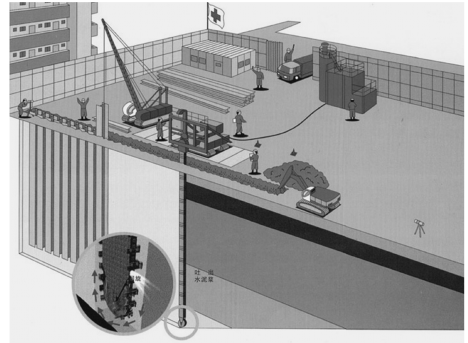


图3 TRD工法施工原理图

该工法与SMW工法的区别是将成墙方式由螺旋钻杆水平分层搅拌改成链锯式切割箱水平切割垂直直搅拌。

4 施工工艺流程

TRD工法施工工艺流程如下:测量放线→开挖沟槽→桩机就位→插入刀具→TRD工法成墙→拔出切割箱。

TRD工法施工时,应根据定位控制线开挖导向沟,并在沟槽边设置水泥土墙定位标志。需要插入型钢时应标出型钢插入位置。必要时可浇筑钢筋混凝土导墙,导墙宜比水泥土墙宽 $40 \sim 60$ mm。

TRD工法主机采用现场成槽、在土层中垂直插入链状刀具箱节的方式完成组装。首先将带有随动轮的箱节与主机连接,然后将箱节逐节连接,使其长度逐步达到起始墙幅的成槽深度,满足水泥土墙的设计深度要求。根据土质条件、机械的水平推力、箱式刀具各组成部分的工作状态及其整体偏位,选择向下或向上切割方式。必要时,可交错使用向上、向下2种切割方式。

根据施工机械是否反向施工以及何时喷浆的不同,渠式切割水泥土墙施工工法可分为一步施工法、两步施工法、三步施工法3种。一步施工法即开挖、建造(混合、搅拌)通过单向一步施工完成。两步施工法即开挖、建造(混合、搅拌)通过往返二步施工完成。三步施工法即开挖、横向回位、建造(混合、搅拌)通过往→返→往3步完成。

一步施工法在切割、搅拌土体的过程中同时注入切割液和固化液。三步施工法中第一步横向前行时注入切割液切割,一定距离后切割终止;主机反向回切(第二步),即向相反方向移动;移动过程中链

式刀具旋转,使切割土进一步混合搅拌,此工况可根据土层性质选择是否再次注入切割液;主机正向回位(第三步),箱式刀具底端注入固化液,使切割土与固化液混合搅拌。两步施工法即第一步横向前行注入切割液切割,然后反向回切并注入固化液。图4为三步施工法施工流程图。

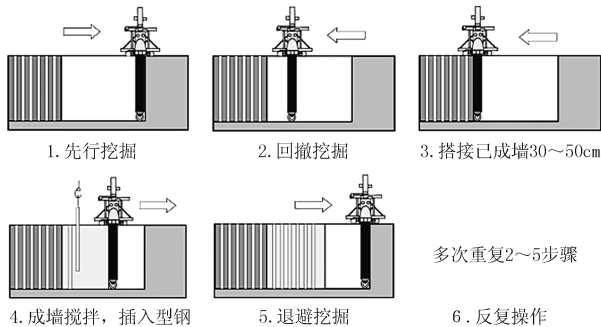


图4 三步施工法施工流程图

两步施工法施工的起点和终点一致;一般仅在起始墙幅、终点墙幅或短施工段采用,实际施工中应用较少。实际工程中,一般多采用一步和三步施工法。三步施工法搅拌时间长,搅拌均匀,可用于土层较硬、墙体深度大、防渗要求高的水泥土墙;一步施工法直接注入固化液,易出现箱式刀具周边水泥土固化的问题,一般可用于较浅的水泥土墙施工。

5 施工控制要点

(1) 做好各项施工准备,如清障、修筑施工便道、铺设钢板等,必要时对施工便道地基进行加固,以确保履带桩机推进的安全和成墙的垂直度。

(2) TRD工法中,在进行切割箱自行打入挖掘的工序时,在确保垂直精度的同时,将挖掘液的注入量控制到最小,使混合泥浆处于高浓度、高粘度状态,以便应对急剧的地层变化。部分易坍塌砂层,切割箱先行退避养生,施工时应注入或掺入膨润土。

(3) 先行挖掘。若能顺利启动及切边时,则可按照操作流程进行施工,但遇到深度大且砂石地基为主体的工程时,应迅速对挖掘液进行调配采取相应的变更措施,以便切割箱能够顺利启动先行挖掘。

(4) TRD工法回撤挖掘。切割箱先行挖掘结束,回撤横移挖掘至成墙位置时,应尽量减少挖掘排量,以控制置换土发生量。

(5) 成墙搅拌。由于经过先行挖掘和回撤挖掘,被加固土体已经被松动。成墙搅拌时,要确保横向较快速度推进,泵的压力和浆液流量要匹配供应,以防止由于推进速度缓慢而导致切割箱体水泥浆附

着层不断增厚,造成切削箱推进阻力不断增加,最后导致“抱死”事故的发生。

(6) 成墙搭接。新老墙体区域搭接质量要严格控制,尤其是挖掘和搅拌速度,使土体中混合泥浆与固化液充分搅拌和混合,搭接宽度宜控制在50 cm左右。

(7) 退避养生。TRD工法成墙搅拌结束后,在墙前1~2 m的距离内用少量清水对设备管路进行清洗,清洗后用高浓度(20%)的膨润土浆液,在墙前2 m区间内进行临时养生区挖掘,并原地停留30 min以稳定混合泥浆的状态。

(8) 为防止切割箱停留在砂性土层发生抱死现象,现场应备有增粘剂,当膨润土不能满足混合泥浆的流动性要求时,可添加适量的增粘剂。

(9) 通过安装在切割箱内部的多段式测斜仪,对墙体的垂直度进行实时控制,确保1/250以内的垂直精度;通过激光经纬仪控制墙体中心线的允许偏差在 ± 25 mm以内。

(10) 施工现场应配备用发电机,确保停电时及时恢复供浆,避免切割箱长时间停转造成埋置事故。

(11) 加强设备的维修保养,特别是在硬质地层作业时,链板、刀板、切削合金块等钻具的磨耗比较大,要准备好充足量的各类备件,以供及时更换、镶补,确保正常施工。

(12) 为防止切割箱被抱死,当液压马达驱动的水平垂直油缸压力接近600~650 kN时,应立即采用专用切割刀具对切割箱四周的砂土、水泥进行切边。

(13) 当成墙结束或转角时,起拔切割箱的时间应控制在4 h之内进行(宜配置大吨位吊车和振动器),根据切割箱长度、吊车起吊能力以及操作空间因素,将切割箱分割成2~3段拔出,应边分解边拔除。施工过程必须严格控制切割箱的拔出速度,拔出切割箱的过程中,注入浆量要能够补充切割箱拔出的体积,以防止混合泥浆液面下降。

6 TRD工法的优缺点

6.1 TRD工法的优点

(1) 施工深度大。TRD工法最大施工深度可达地下60 m,是目前多轴搅拌桩机所无法达到的。施工墙厚450~850 mm,可满足各类围护墙的要求。

(2) 安全性高。TRD工法设备高度仅10 m多,重心低,稳定性好,特别适用于高度有限制的场所。常规的SMW多轴工法桩机高度都在20 m以上,有

的达到30多米高。

(3)掘削能力强,适应地层广。不仅适用于 N 值 <100 击的粉土、砂土层,对坚硬地层(砂砾、泥岩、软岩等)具有较高的切割能力,可以大大缩短工期。

(4)成墙品质好。TRD工法是在墙体深度方向上充分搅拌,即使对于性质差异的成层地基也能够成在深度方向形成强度均一的均质墙体。

(5)成墙连续性好。对于浅墙可以连续成墙,深墙可以先按幅成墙,步进长度控制灵活,前后幅墙间自然搭接,可以认为是整体连续成墙,截水性能好。

(6)墙体等厚。TRD工法墙是等厚度的,这对于采用TRD工法墙插入H型钢作为基坑支护时尤为重要,因为型钢间距可以随意设置。

(7)成墙精度高。墙体直线度通过激光经纬仪控制,而设备自带的多段式随钻测斜监控装置有效地保证了墙体垂直度。

(8)环境影响小。TRD工法充分利用原状土搅拌成墙,避免产生大量的泥浆外运,对环境污染小;另一方面,TRD工法的机械噪声和振动相对较小,对周围居民生活环境影响小。

图5为TRD工法成墙照片,可以看出,墙面平整,止水效果良好。



图5 TRD工法成墙照片

6.2 TRD工法的不足

(1)TRD工法由于引进时间不长,应用还不是很多,认知度不高,较难推广。

(2)TRD工法作为止水帷幕时比SMW工法价格高。这是由2方面因素造成:一是TRD工法设备价格高(进口设备约2000万元,国产设备约1500万元),造成设备费用摊销较大;二是TRD工法在深度范围内均匀搅拌成墙,即整个深度范围内水泥掺量是一样的,无法像传统施工方法在不同的深度范围内调节水泥掺量,也造成价格偏高。

(3)TRD工法设备基本上为进口,国产设备也尚未量化生产,一旦零配件损坏需要进口或预订,维修周期长。

(4)TRD工法的工艺决定了其掘进方向只能走

直线,需要转角时必须先将全部切割箱拔出,设备转向后再重新下沉切割箱,时间须在2天内完成,这意味着墙体转角多时采用TRD工法施工不具备工期优势,而弧形墙体无法采用TRD工法施工。

(5)遇到地下障碍物时处理困难,需要将切割箱全部拔出后才能处理。

7 工程应用

7.1 天津中钢国际广场项目

天津中钢国际广场项目位于滨海新区响螺湾商务区,由2栋塔楼、裙楼及地下室组成,总建筑面积39.5万 m^2 ,其中主塔楼88层,高358m。基坑开挖面积约2.3万 m^2 ,开挖深度20.6~24.1m,基坑周长591m。30m深度范围以粉质粘土层为主,10~15m深度范围部分为②层流塑的淤泥质粘土层,坑底基本为④层粉质粘土,均为潜水层;24~58m深度范围主要为粉砂、粉细砂层。⑤层粉砂和⑥层粉细砂均为微承压含水层;埋深24m,层厚34m。微承压水水头埋深为8~9m,当基坑深度达14~15m时,基坑开挖已不能满足承压水稳定性要求,需对承压水采取有效的控制措施。

基坑围护采用钻孔灌注桩挡土,桩径1.25m,桩长35.4m,外侧设水泥土墙截水帷幕,墙深45m,作为复合挡土截水结构,坑内设4道钢筋混凝土水平支撑。设计要求墙体抗渗系数 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ cm/s}$,水泥土墙28天无侧限抗压强度标准值 $<0.8 \text{ MPa}$ 。水泥土连续墙采用700mm厚TRD工法施工,施工前先场外做了试成墙试验。试成墙完成5延米,平均分布8个透孔取心桩位。通过透孔取心样检测,试成墙墙体质量可以达到设计强度和抗渗要求。

TRD工法水泥土地下连续墙采用三步法施工,成墙效率2m/h。水泥土墙透孔取心试验检测试块强度在1.08~1.73MPa之间,完全满足设计要求。

7.2 天津鲁能绿荫里项目

天津鲁能置业绿荫里项目位于天津市南开区水上公园北路、卫津路、天塔道、水上公园东路所围地块内。拟建项目占地面积约88000 m^2 ,地上含1栋42层写字楼、1栋31层住宅楼、2栋39层住宅楼及2栋45层住宅,其余为3~9层的商业、酒店及公寓。整个合围区域内有一连体地下室,基坑开挖深度15.65m,南侧局部开挖深度11.25m,电梯井最深处为18.65m,集水坑最深处为20.15m,基坑周长为1338m。如图6所示该基坑存在以下高风险因素:

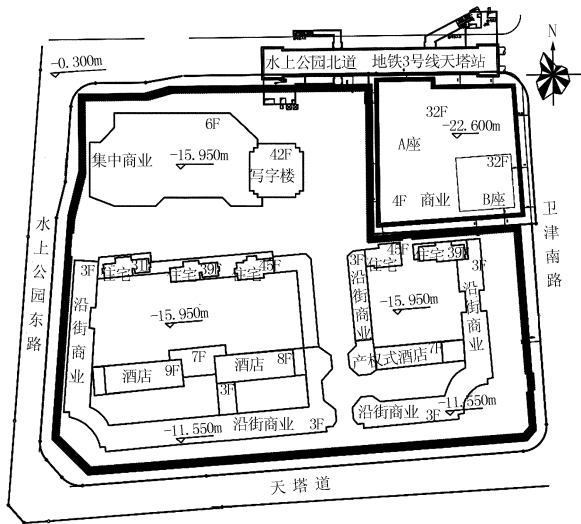


图6 绿荫里项目围护结构平面图

大理道和衡阳路所围成的场地内,总建筑面积 7.15 万 m^2 ,项目总投资 6.6 亿元。其中地上 3 层,地下 2 层,基坑开挖深度 12.4 m,周长约 600 m,基坑开挖面积 2.5 万 m^2 。拟建场地位于和平区五大道风貌建筑保护区内,四周临重要道路,道路以外均为 1~4 层老旧建筑物,年代久远,大都为砖木结构,结构稳定性差,对基坑开挖变形敏感。

该工程土层主要由粘土、粉质粘土及密实粉土、细砂及砂层组成。基坑支护设计采用型钢水泥土连续墙加 2 道钢筋混凝土水平支撑系统。水泥土地下连续墙厚 850 mm,墙顶标高 -1.3 m,墙深 33.5 m,周长 593.55 m,水泥土地下连续墙固化剂采用 P. O 42.5 水泥,掺入比 $\leq 25\%$,水灰比 1.0~2.0,水泥土墙中插入 H 型钢,型钢为 700 \times 300 \times 13 \times 24,间距 600 mm。为了保证成墙质量及防渗效果,水泥土地下连续墙采用 TRD 工法施工,从基坑开挖后的情况来看,墙体表面平整、干燥,止水防渗效果很好。

8 结语

TRD 工法主要用于深大基坑的止水防渗,其作用是隔断深层承压水,插入型钢后可直接用于基坑支护。国内的应用实践表明,TRD 工法很好地解决了以往 SMW 工法做不到的一些难题,尤其是在隔断深层承压水方面有很好的效果,在一些限高的场所也能发挥其自身的优势。TRD 工法所具有的施工深度大、安全性高、成墙精度高、连续性好、止水效果佳的优势是其它水泥土成墙方法所达不到的。由于受设备造价的制约,该工法施工单价相对较高,目前应用还不是很多,施工设备的数量也较少。相信随着设备国产化和认知程度的提高,这种状况会逐渐改变,TRD 工法在深、大基坑中的应用将会有更加广阔的前景。

参考文献:

- [1] 张瑞,郭延义,彭光磊,等.水泥加固土地下连续墙浇筑施工工法(TRD工法)在深基坑工程中的应用[J].建筑施工,2011,33(6):442-443.
- [2] 李星,谢兆良,等. TRD 工法及其在深基坑工程中的应用[J]. 地下空间与工程学报,2011,(7):945-950.
- [3] 徐云福,何一新,牛春明. 新型止水帷幕地下水水泥土连续墙施工技术[J]. 浙江建筑,2011,(11):38-41.
- [4] 彭明祥,郑言成,等. 中钢国际广场超深等厚水泥土地下连续墙施工技术[J]. 施工技术,2011,40(5):32-34.
- [5] 黄成. TRD 工法在基坑支护工程中的应用效果分析[J]. 建筑技术,2010,(12):1145-1147.
- [6] JGJ/T 303-2013,《渠式切割水泥土连续墙技术规程》[S].

(1) 基坑开挖面积大,约 8.8 万 m^2 ,整体地下 3 层(局部地下 2 层),开挖深度最大 15.7 m,属于超大面积、超深基坑工程;

(2) 项目四周邻近道路,其中已经投入运营的地铁 3 号线从北侧水上北路下方穿过,而且地下室深度与地铁站深度相当,地铁站及地铁线路对位移、沉降极为敏感,做好对道路、管线及地铁线路的保护工作是基坑工程的重点;

(3) 该基坑开挖深度较大,场地水文地质条件复杂,地下深部存在承压水头较高的 $\textcircled{8}_2$ 、 $\textcircled{9}_2$ (局部还分布有 $\textcircled{9}_{1-1}$)粉土层及 $\textcircled{11}_2$ 、 $\textcircled{11}_4$ 粉土粉砂层,对基坑底部突涌存在较大影响,且粉土层厚度较大,第一承压含水层埋深 21.00~35.00 m,如何有效控制地下水也是该基坑工程的重点。

根据天津地区类似工程的施工经验,基坑围护最初设计了 2 个方案,分别为钻孔灌注桩外加水泥土墙止水帷幕及钢筋混凝土内撑、地下连续墙加钢筋混凝土内撑的形式。最终从经济性、合理性、施工周期、施工难度、止水效果等方面进行对比,选择了第一设计方案。

支护结构钻孔灌注桩 $\text{O}1200@1400$,有效桩长 27 m,考虑到第一承压含水层的深度在地下 35 m 左右,而且其厚度较大,因此为保证封隔效果,水泥土止水帷幕墙采用 TRD 工法施工。设计水泥墙厚 0.8 m,墙深 36 m,采用 P. O 42.5 水泥,掺入量为 20%,采用三步法施工。要求墙体抗渗系数达到 10^{-7} cm/s。施工单位组织了 2 台 TRD 工法桩机进场施工,从试成墙的情况来看效果良好。

7.3 天津民园体育场改造工程

天津民园体育场改造工程位于重庆道、河北路、