

华北地区深基坑 TRD 围护结构安全性设计研究

Research on Safety Design of TRD Retaining Structure for Deep Foundation Pit in North China

刘欣凯 辛伟强 马小龙

Xinkai Liu Weiqiang Xin Xiaolong Ma

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 中国·陕西 西安 710065

PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

摘要: TRD 水泥土搅拌墙围护结构作为施工周期短、经济型的一种支护方式,目前已作为地铁明挖基坑一种主要施工方法。论文结合华北地区某基坑工程中的应用实例,介绍了 TRD 水泥土搅拌墙的设计情况,参数的选择,通过安全监测数反应围护结构的侧向变形较小,保证了基坑施工的安全性,同时节约工期,节约成本。

Abstract: TRD cement-soil mixing wall retaining structure as a short construction cycle, economic type of a support, the subway has been as a major open-cut Foundation pit construction method. Combined with the application example of a foundation pit project in North China, the paper introduces the design of TRD cement soil mixing wall and the selection of parameters. The safety monitoring data reflect that the lateral deformation of the retaining structure is small, which ensures the safety of the foundation pit construction, and saves the construction period and costs.

关键词: TRD 水泥土墙; 围护结构; 变形; 基坑监测

Keywords: TRD cement soil wall; enclosure structure; deformation; foundation pit monitoring

DOI: 10.12346/etr.v4i9.7079

1 引言

近几年来,地铁深基坑工程安全事故频发,受到了社会广泛的关注^[1]。在地下深基坑工程建设工程中,由于施工时间长、施工现场周围的地质和环境特点不同、施工工法不同,可能会出现各种安全风险和事故隐患^[2]。因此,工程实践必须高度重视深基坑支护结构的安全性。TRD 工法(Trench-Cutting Re-mixing Deep Wall Method)是由日本于 20 世纪 90 年代初开发研制的新型等厚横移式水泥土地下连续墙施工工法^[3],与传统的单轴或多轴螺旋钻孔机所形成的柱列式水泥土地下连续墙工法不同,是能在各类土层和砂砾石层中连续成墙的成套设备和施工方法。华北地区软土层厚度大,采用 TRD 地下水泥土搅拌墙作为基坑支护结构,并进行优化设计,可以有效利用现有地层的软土,经过在施工过程中安全监测数据分析,对此类型支护的抗渗性、止水性、强度稳定性进行验证,对于同类型基坑支护的安全性研究提供参考。

2 工程概况

2.1 工程概述

华北地区某地铁区间工程采用明挖法施工,基坑采用一级放坡开挖+TRD 型钢水泥土搅拌墙与内部钢支撑体系。基坑全长 342.96 m,开挖宽度约 52~65 m,一级放坡高度约 7.9 m,坡底平台宽度 8.5 m,主体基坑深度约 12.7 m,采用 TRD 型钢水泥土搅拌墙。周边环境较为单一,地势平坦,现状为农田、林地、荒地等,处于未开发状态,无任何管线与地上地下建(构)筑物。

2.2 工程地质及水文条件

本工程地貌类型主要为冲击平原,地形平缓,线路沿线第四纪沉积物主要由河流冲击物组成,地层主要以粘性土、粉土及砂土互沉积为主。地层沉积物的组构、空间相变规律具有较为明显的区域性特征和过度渐变性,并具有典型的多沉积旋回的特征。

根据区域地质资料,按地层沉积年代、成因类型等,

【作者简介】刘欣凯(1988-),男,中国陕西渭南人,硕士,工程师,从事安全管理、工程管理、安全监测研究。

工程场地勘探范围内的土层分为人工堆积层(Qml)、新近沉积层(Q4al)、第四系上更新统冲洪积层(Q3al+pl)共3个大层,19个亚层。其中工程深度(基坑开挖标高-0.9~-13.6 m,围护结构底标高-25.6 m)包含各土层概述如下:

根据区域地质资料,共有2层地下水,主要为潜水、承压水。潜水位埋深12.79~13.19 m,水位标高-4.89~-5.29 m,含水层主要为粉细砂5-1层,其下粉质黏土6-1层透水性相对较差,可视为潜水含水层与其下承压含水层的相对隔水层。该层水的年变幅为3~5 m。承压水位埋深12.60 m左右,水位标高-5.83 m左右,含水层主要为黏质粉土6-2层、粉细砂6-4层以及粉质黏土7-4层中黏质粉土7-5层夹层,其下粉质黏土7-4层透水性相对较差,可与其下承压含水层的相对隔水层。该层承压水的年变幅为1~3 m。

本工程位于河北地区,存在区域性地面沉降特殊地质条件,根据《地面沉降专项研究报告》显示:2016—2020年场地两侧3 km范围5年平均沉降速率为9.39 mm/a,5年累计沉降坡度变化比较平稳,基本小于0.05%。沿线地面沉降主要是大范围的地下水强烈开采引起的,属于一个区域性的地质现象,不可能由局部的调节进行控制。

3 支护结构设计

3.1 围护结构形式

基坑采用二级放坡开挖+TRD型钢水泥土搅拌墙与内部钢支撑体系,采用TRD型钢水泥土搅拌墙与内部钢支撑体系。一级放坡坡比为1:1.5,放坡高度约7.9 m,坡底平台宽度8.5 m。坡面挂Φ8 mm@200 mm×200 mm钢筋网,喷射100 mm厚C25混凝土,设置Φ16 mm的构造土钉,长1 m,2 m×2 m梅花形布置。

主体基坑开挖深度约12.7 m,围护结构采用TRD型钢水泥土连续墙形式,水泥土墙厚0.85 m,深24.7 m;型钢采用Q235B钢,长20~23 m不等,嵌固长度约9.5 m。内支撑体系设置2道Φ800 mm,t=16 mm钢支撑,基坑整体稳定性安全系数取1.3。

3.2 围护结构施工

本项目为TRD水泥土搅拌连续墙与传统的多轴螺旋钻机所形成的柱列式水泥土搅拌连续墙工法不相同。TRD水泥土搅拌连续墙首先将锯链型切削刀具插入地下,向下掘削至设计深度,然后注入准备好的固化剂,与原状土体混合,并持续横向掘削、搅拌,构筑成高品质的地下水水泥土搅拌连续墙。

TRD型钢水泥土连续墙施工采用三工序成墙的施工方法:即先行挖掘、回撤挖掘、成墙搅拌。

TRD水泥土连续墙主要施工工艺流程:测量放样、开挖沟槽、吊放预埋箱、桩机就位、切割箱与主机连接、安装测斜仪、成墙、插入型钢、拔出切割箱。

3.2.1 测量放样

施工前,根据设计图纸放样连续墙中心线角点坐标,同

时做好护桩,并通知相关单位进行放线复核。

3.2.2 开挖沟槽

依据TRD工法设备重量,对施工场地铺设钢板等加固处理措施,确保施工场地满足机械设备对地基承载力的要求,确保桩机的稳定性。用挖掘机沿围护墙中心线平行方向开挖工作沟槽,沟槽深度约1.2 m,槽宽约1.0 m。

3.2.3 吊放预埋箱

用挖掘机开挖深度约3~4 m、长度约3 m、宽度约1.5 m的预埋坑,利用履带吊并将预埋箱吊放入预埋穴内。

3.2.4 桩机就位

将组装调试完成的TRD主机设备桩机就位,移动前看清左、右、上、下各方的情况,发现有障碍物存在应及时清除,移动结束后检查定位情况并及时处理,桩机应平稳、平正。

3.2.5 切割箱与主机连接

将切割箱逐段吊放入预埋穴,利用支撑台固定;TRD主机移动至预埋穴位置连接切割箱,主机再返回预定施工位置进行切割箱自行打入挖掘工序。

3.2.6 安装测斜仪、成墙

切割箱自行打入到设计深度后,安装多段式测斜仪。通过在切割箱内部的多段式测斜仪,可进行墙体的垂直精度检测,通常可确保1/250以内的垂直精度。

3.2.7 成墙

测斜仪安装完毕后,主机与切割箱连接。在切割箱底部注入挖掘液预先切割土层一段距离,再回撤挖掘至原处,开始固化液使其与原土体强制混合搅拌,形成等厚水泥土地下连续墙。

固化液采用42.5级普通硅酸盐水泥,水灰比1.2,水泥掺量25%,挖掘液拌制采用钠基膨润土,每立方被搅拌土体掺入10%膨润土。当天成型的墙体搭接已成型墙体不小于50 cm,搭接部位保证垂直无倾斜,慢速搅拌,使固化液与混合泥浆充分混合,保证搭接质量转角位置形成十字搭接,对已成型墙体充分切割,再次进行搅拌,确保冷缝施工质量。成型的水泥土连续墙28天无侧限抗压强度大于1 MPa,抗渗系数不大于 10^{-7} cm/s,强度未达到设计强度前严禁进行土方开挖。

3.2.8 插入型钢

H型钢采用Q235B钢,插入前在干燥条件下除锈,表面涂抹减摩材料,检查平整度和焊缝质量,垂直度控制不大于1/200。在搅拌桩施工结束后30 min内插入,采用50 t吊车起吊H型钢,型钢必须保持垂直状态,将H型钢底部中心对准桩位中心沿定位卡慢慢、垂直插入水泥土搅拌桩体内,当H型钢插入到设计标高时,用Φ10吊筋将H型钢固定。内插H型钢型钢插入垂直度偏差不得大于1/300,H型钢插入时间必须控制在搅拌墙施工3 h内完毕。型钢插入依靠自重,插入困难可采取辅助措施,严禁采用多次重复起吊下落的方式,H型钢顶标高高出冠梁70 cm。

3.2.9 切割箱拔出

一段工作面施工结束后，利用 TRD 主机将切割箱分段拔出。

3.3 土方开挖

基坑开挖过程中遵循“时空效应”理论，始终坚持“分段、分层、对称、平衡、限时”的原则。

纵向基坑分段长度与主体结构分段保持一致，每小段的开挖长度不大于 18 m，开挖过程中根据地质情况及投入机械情况等，再分小段开挖。

基坑横向采用拉槽开挖，基坑平均宽度为 50 m，分 7 块进行开挖，先开挖中间部分，再开挖两边反压土体部分，横向拉槽底宽为 6~8 m，分块之间横向施工坡比 1 : 0.75。

4 变形分析

4.1 监测设计

4.1.1 布设原则

监测点沿基坑周边的桩体布设，布设间距宜为 40 m 布设一处。基坑的主监测断面、各边中间部位、阳角部位及其他代表性位置的桩体均布设监测点。与支护桩顶部水平位移和竖向位移监测点处于同一监测断面。支护桩体水平位移监测点的布设形式采用在 TRD 型钢上同步安装测斜管的形式，使用测斜仪观测各深度的水平位移。埋设深度不小于支 TRD 桩体的深度。

4.1.2 布设方法

支护桩体水平位移监测在 TRD 型钢上安装测斜管的方式，测斜管采用高精度 PVC 测斜管，测斜管外径 70 mm，壁厚 5 mm。

安装注意事项：

①校准测斜管方位时，测斜管内的十字槽有一边垂直基坑。

②每节导管间用接箍连接，并用密封胶密封，以防止混凝土浆液进入测管。

③测管底部高于工字钢底部约 0.3 m，顶部低于型钢吊装孔 0.2 m，防止下压过程中被破坏。

4.1.3 数据采集

桩体水平位移监测采用新科便携式测斜仪，分辨率 0.02 mm/500 mm，系统精度 ± 6 mm/50m。数据采集以管底为起算点，自下而上以 0.5 m 的间隔逐段量测，进行正反 2 次量测，依据计算公式进行计算。

初始值测定在围护结构冠梁完成后且在基坑开挖条件验收前 5 天完成，相同的人员采用同一台仪器对测斜管进行 3 次重复测量，三次观测互差小于 3 mm 判定测值处于稳定状态后，以 3 次测量的平均值作为状态水平位移计算的零值。

在基坑开挖过程中按照既定的观测频率进行数据采集，通过每期测斜管不同深度的位移观测值，计算桩体不同深度处的位移变化量，绘制位移时间变化曲线图来分析 TRD 桩

体的变形情况。

4.1.4 监测频率

工程施工期间，各监测项目主要监测频率根据工程周边环境、地质水文条件，基坑自身风险等级等综合确定。由于本工程采用放坡开挖 +TRD 围护结构的形式，周边无道路、管线、构筑物等环境风险；工程地质条件较好，土方开挖范围内多为粉质黏土和黏质粉土；地下水位埋深在基坑开挖面以下 12 m 位置；工程监测确定为二级，监测频率结合规范及设计图纸要求，以二级监测等级的具体频次要求来实施。

4.2 监测数据统计及分析

基坑开挖至回填整个阶段（2021 年 9 月 1 日开始开挖，10 月 16 日开挖约 7m 深，10 月 19 日开挖至底，11 月 21 日底板浇筑，12 月 1 日二层支撑拆除，2022 年 1 月 23 日顶板浇筑，3 月 2 日型钢拔除），每天进行一次数据采集，取一组典型监测断面（此区域变形最大，位于第六施工段，该部位地下潜水水位标高在 -4.89 m，承压水水位标高在 -5.83 m）。对该断面桩体测斜数据进行统计分析，绘制测点累计位移变化时程曲线图，结果如图 1 所示。

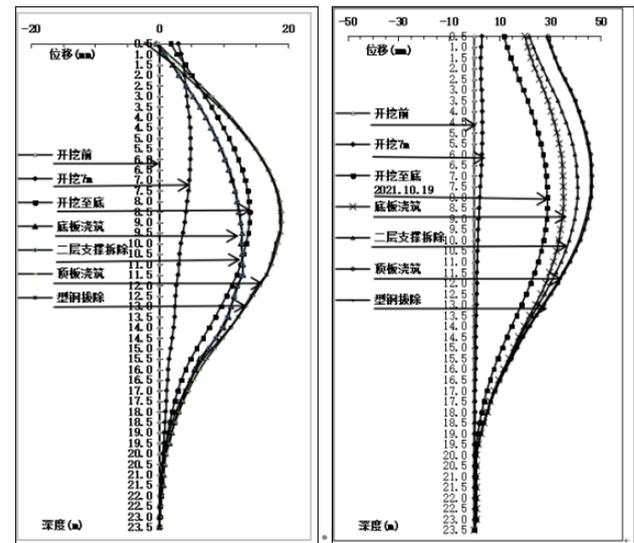


图 1 斜变化曲线图

根据图 1 显示：TRD 水泥土连续墙变形主要发生在土方开挖、支撑拆除两个阶段。基坑开挖至 7 m（一半深度）左右时，围护墙变形较小，变形量在 5 mm 左右；从 7 m 深开挖至底板，发生较大变形，变形量在 10~25 mm 之间，变形主要发生在土方开挖范围；基坑见底至底板浇筑期间，仍有一定的变形趋势，至第二道钢支撑拆除，结构变形在 7 mm 左右。在第二层支撑拆除后，围护结构发生一定的变形，变形量在 6 mm 左右；拆除后一周左右稳定，顶板浇筑后至 TRD 水泥土连续墙型钢拔出前，桩体基本稳定无变化。

5 结论

在软土地基中采用 TRD 水泥土搅拌墙支护结构施工时：

①基坑开挖过程中,围护结构变形主要发生在下半段的开挖过程中,随着开挖深度增加,围护结构外侧土压力增大,围护结构大幅变形,结构顶板完成后变形基本稳定,最大变形约46 mm,根据基坑监测技术规范,围护结构变形在规范允许变形范围内,略小于规范要求的50 mm。

②围护结构最大变形发生在8~9 m的深度,基本在开挖深度的2/3处及第二次支撑下方一些的位置,印证此处为最大弯矩处。

综上所述,在软土地基中采用TRD水泥土搅拌墙支护结构施工时,其支护结构的变形基本在可控范围内,能够作为深基坑施工的一种有效的支护形式。加之施作快、经济效

益显著(型钢能够周转使用)及具有良好的隔水效果等优点,在环境复杂程度中等以及富水程度较高的区域可用于一般深基坑的围护结构。

参考文献

- [1] 邓世川.基坑工程施工安全事故发生的原因及风险识别[J].建筑与工程,2013(9):362-363.
- [2] 冯春强.TRD工法在超深基坑工程中的应用[J].建筑施工,2013(3):188-190.
- [3] 安国明,宋松霞.横向连续切削式地下连续墙工法-TRD工法[J].施工技术,2005(1):278-282.