

TRD 工法桩在基坑围护结构中施工技术的应用与研究

房瑞霞

宁波市斯正项目管理咨询有限公司, 浙江 宁波 315000

[摘要] TRD 工法桩又称“渠式切割连续墙”主要工作原理为: 以链锯式刀具为主要机具, 切割箱下沉至设计深度从刀具端头喷出水泥浆液作为硬化剂与原位土体充分搅拌, 可横向水平移动或竖向垂直对地下土体进行切割, 同时注入高压空气通过链锯搅拌混合均匀, 在地下形成一道等厚度的连续墙体。

[关键词] TRD 工法; 链锯式刀具; 水泥; 水泥浆硬化剂; 高压空气; 等厚度的连续墙

DOI: 10.33142/ect.v2i9.13452

中图分类号: TU753.8

文献标识码: A

Application and Research on TRD Construction Method Pile in the Construction Technology of Foundation Pit Enclosure Structure

FANG Ruixia

Ningbo Sizheng Project Management Consulting Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: TRD construction method pile, also known as "canal cutting continuous wall", mainly works by using chain saw cutting tools as the main equipment. The cutting box sinks to the design depth and sprays cement slurry as a hardening agent from the end of the cutting tool, which is fully mixed with the in-situ soil. It can move horizontally or vertically to cut the underground soil. At the same time, high-pressure air is injected and mixed evenly through the chain saw to form a continuous wall of equal thickness underground.

Keywords: TRD construction method; chain saw type cutting tools; cement; cement slurry hardener; high pressure air; a continuous wall of equal thickness

引言

TRD 工法施工作为新技术具有止水性能优异、墙体等厚、无缝连接、连续墙深度方向品质均一等特点, 但目前该工法在国内工程实践中还刚刚起步, 其在各种复杂地质条件下的成墙施工参数和成墙质量仍处于摸索阶段, 必须要采用可靠的施工质量控制手段和方法来保证成墙质量。由于考虑到场地周边环境、机具设备、土层地质条件、配套能力等方面因素, 编制该论文是在结合并借鉴现有施工经验、施工技术, 认真研究设计文件的基础上, 以科学总结现场施工管理要点, 为后续学习作铺垫。

1 TRD 工法桩应用实例

1.1 工程概况

本工程位于浙江省宁波市邱隘镇, 包含中山路(芳草路以东段)、中山路下穿隧道第 24 至 41 号节段(桩号 AK0+669.00~AK1+305.00)和文卫路(湖茵路-芳草路)。中山路(芳草段以东段)西起芳草路, 东至规划道路, 全长约 325m, 道路标准横断面宽 43m, 道路等级为城市次干路, 设计速度 40km/h。文卫路(湖茵路-芳草路)西起湖茵路, 东至芳草路, 全长约 390m, 道路横断面宽度 36m, 跨规划河道桥梁 1 座。道路等级为城市次干路, 设计速度 40km/h。工程主要建设内容: 道路工程、桥梁工程、排水工程、隧道工程、路灯工程、景观工程、电力排管及其他附属配套工程。工程造价约 3.5 亿元。

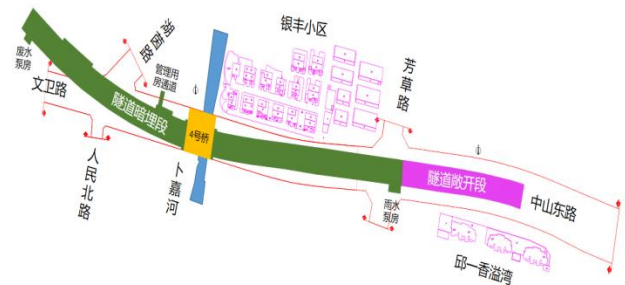


图 1 隧道工程总平面图

1.2 围护结构形式简介

采用明挖顺筑法施工, 明挖基坑围护结构采用 TRD 墙+内插型钢。

表 1 TRD 墙工程数量表

单位工程	分部工程	分项工程	单位	数量	备注	
TRD	B 基坑 29~30 节段	基坑支护	TRD 搅拌墙	m	345	隔离保护桩+止水
	A 基坑 25~26 节段	基坑支护	TRD 搅拌墙	m	75	隔离保护桩+止水
	C 基坑 31 节段	基坑支护	TRD 搅拌墙	m	32	隔离保护桩+止水
	D 基坑 32 节段	基坑支护	TRD 搅拌墙	m	50	隔离保护桩+止水
	E 基坑 33~41 节段	基坑支护	TRD 工法桩	根	110	隔离保护桩+止水

1.3 施工总体部署

根据隧道基坑围护结构图纸,隧道工程划分为A、B、C、D、E共5个工区进行施工,为避免邻基坑开挖期间相互影响,隧道主体结构分二阶段进行:一阶段实施B、D基坑主体结构,二阶段实施A、C、E基坑主体结构。

本次TRD墙施工计划进场1台TRD设备及后台设备、一台PC200型挖机、一台75t履带吊。

1.4 施工技术准备工作

(1)对施工人员进行有针对性施工组织设计、施工方案技术交底;(2)认真熟悉图纸,做好图纸会审;(3)红线桩及建筑物定位需经测绘部门、市规划局检验核准;(4)做好测量放线、定位及控制桩点位保护工作,对周围邻近建筑物布置沉降观测点。(5)地下障碍物调查:根据业主提供的施工区域地下综合管线、构筑物的详细位置及不明地下障碍物进行现场探测工作(包括其深度、位置及走向),并做好定位标志,并向施工技术人员作书面和现场的确认交底。

1.5 拟建场地工程地质情况

拟建场地分为8个大层、23个亚层,自上而下分别为:

第1-1a层(m1、人工堆积)

杂填土:杂色,松散。主要由建筑、生活垃圾黏性土组成,含少量块石(揭示较大块石块径达50cm以上),其中硬杂质含量达30%以上,土体结构松软,系新近堆积,土质不均匀,强度低。场地内主要分布在隧道AK0+540以西孔段,揭示层厚0.30~3.60m。

第1-1b层(m1、人工堆积)

素填土:杂色,主要为级配碎石、块石混杂少量黏性土分层填筑而成,其中硬杂质含量达50%以上,块石块径可达50cm以上,为新近回填,结构松散~密实,原文卫路、中山路表层约25cm厚砼面层,面层下一般为30cm厚水泥稳定碎石基层,稳定层下为塘渣,厚度一般大于80cm,场地内主要分布在隧道AK0+580以东孔段,揭示层厚0.40~2.70m。

第1-2层(a1-1 Q43、冲湖积)

黏土:灰、灰黄色,软塑,高压缩性,含氧化铁锰质斑点,切面有光泽、高干强度、高韧性,自上而下渐变灰变软,摇震反应无。由于场地沿线人类工程活动频繁,部分孔段已被挖除,揭示层厚0.30~2.50m。

第1-3层(mQ43、海积)

淤泥质黏土:灰色,流塑,高压缩性。含云母及少量腐植物,局部地段有机质含量较高,薄层状结构、切面有油脂光泽,高干强度,高韧性,摇震反应无。全线分布,揭示层厚1.50~6.70m。

1.6 工程水文条件

1.6.1 地表水

拟建场地内的卜嘉河呈南北走向,由南侧横河汇入北侧后塘河,河面宽度12.00m左右,水深约1.50~2.00m左右,浮泥厚度约0.30m,河道常水位标高约1.00m;河

水位升降主要受大气降水及人工阀门控制,多雨季节水位上涨,枯水期水位下降,排泄条件良好,基本无灾害性水患。河水与场地内地下水互卫补给,有一定的水力联系,特别是隧道基坑在卜嘉河区段应重视河水渗透对地下室基坑开挖及基础施工的不利影响。

1.6.2 地下水

(1) 孔隙潜水

场地上部浅层孔隙潜水赋存于地表填土及下伏的饱和软土层中,上部杂填土透水性较好,水量相对较大;饱和软土层透水性较差,水量很贫乏;浅层孔隙潜水主要来源于大气降水和地下水侧向补给,多以蒸发方式排泄。据宁波市有关水文资料,该区域高水位一般出现在6~9月份,低水位出现在12月~次年2月份,拟建场地地下水常年水位变化幅度一般为1.00m左右。

本工程建筑场地地下水历史最高水位约为3.00m,近3~5年最高水位约为2.80m,最低水位高程约为0.50m,同时应考虑台风天及地下水位上升对地下室基础施工的不利影响。

(2) 孔隙承压水

场地内孔隙承压水主要赋存于第3-1层、第4-1夹层黏质粉土、第4-3层砂质粉土、第6-4层粗砂、第7-3层细砂夹粉质黏土、第8-1层中砂、第9-2层圆砾中。

1.7 工程特点和难点

(1)提高水泥比重,当TRD水泥搅拌墙遇到不良地质和地下障碍物时。(2)为确保施工现场地基承载力满足机械设备要求,重载便道上须提前铺设钢板。(3)提前使用测量设备进行桩机、切割箱的垂直度监测。(4)TRD搅拌桩在下沉和平移过程中严格控制水灰比及水泥掺量同时注入水泥浆液。并采用三循环成墙的施工方法对地基土进行充分搅拌混合、均匀后再进行水泥土成墙搅拌(即先行挖掘→回撤挖掘→成墙搅拌)。

1.8 施工工序

(1)测量放线。按照设计图上标注的坐标、高程进行放样定位及高程引测工作,根据规划局提供的测量坐标基准点,进行临时或永久标志记录。完成定位放样工作后,上报测量监理工程师进行定位复测。测量结果符合要求后方准进行水泥墙施工。

(2)开挖沟槽。先用挖掘机开挖1~1.2m宽、深2m的TRD施工沟槽,严格按照基坑放样坐标进行开挖轴线定位,深层置换土及开挖沟槽余土须及时处理,确保TRD水泥搅拌墙正常施工。

(3)吊放预埋箱。采用挖掘机开挖长2m×宽1m×深3m的预埋穴,使用汽车吊将预埋箱放入沟槽底。

(4)桩机就位。桩机应使用全站仪观测桩机垂直度,待桩机平整、平稳定位后再进行坐标测量复核,垂直度偏差不大于1%,桩位偏差值不大于20mm,标高偏差为±100mm,移动前查看周边环境及行人情况,及时清除障碍

物，桩机移动完毕需认真检查定位情况并及时纠正偏差。

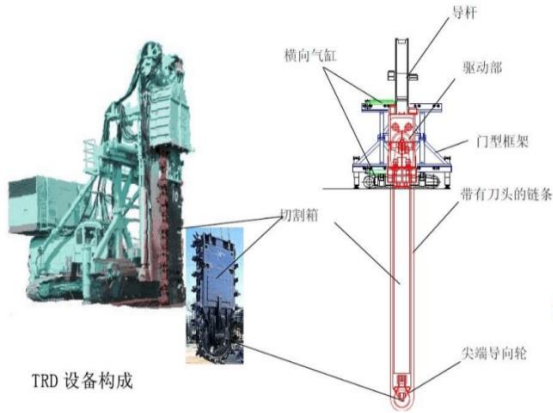


图2 TRD 桩机组成图

(5) 切割箱与主机连接。TRD 工法水泥石土搅拌墙采用指定的履带吊车将切割箱标准节逐节放入导向槽，采用支撑台固定；然后主机再次返回事先施工位置同步自行打入切割箱。

(6) 主机内安装测斜仪。首先在切割箱自行下沉至设计深度后，再安装测斜仪。切割箱内部安装多节测斜仪，以此来对墙体垂直度监测，可确保在 4% 以内的施工精度。

(7) TRD 工法成墙。主机与切割箱连接进行三工序施工，进而形成等厚度水泥石土搅拌地下连续墙。待测斜仪安装完成后，

第一步—先行挖掘：通过压浆泵注入挖掘液膨润土浆液 $100\text{kg}/\text{m}^3$ ，向前推进切割箱，挖掘长度为 10m，挖掘原土层松动，然后再保持切割成槽一段行程。

第二步—回撤挖掘：根据机械设备施工功效，完成一段成槽后，切割箱再次返回至挖掘起始点。

第三步—搅拌成墙：为形成等厚度水泥石土搅拌墙，通过压浆泵注入水泥固化液，切割箱返回至挖掘起始点后更换水泥浆液，缓慢向前推进切割箱使泥浆与挖掘液搅拌均匀。

(8) 水泥浆液流动度及水泥比重测试。为确保水泥石土搅拌墙施工质量，按时检测水泥浆液流动度与水泥比重 (1.37)、水灰比 (1.5)。

(9) 及时处理置换土。TRD 施工产生的置换土先进行晾晒，待达到一定的强度后优先回填机械设备行走道路路基，其余置换土采用集中堆放至容纳数量后统一渣土车外运。

(10) 切割箱重新组装

对于施工轴线或 TRD 桩位深度发生变动的施工区域，须及时将切割箱拔出，然后再重新组装切割箱进行下一段水泥石土搅拌墙作业。

1.9 施工参数

本工程 TRD 工法水泥石土搅拌墙施工按以下参数进行：

(1) 切割箱体配置：本工程最大墙深 25m，共 7 节切割箱，由上至下排序依次为：6 节 3.65m 切割箱与 1 节

3.1m 被动轮进行组装，总长度为 25m。

(2) 配置切割刀具：为确保全断面切割土层，因此厚度 85cm 的水泥石土搅拌墙，采用 85cm 宽呈菱形布置的刀具 (每片平均 6 个，共 66 个)。

(3) 水泥掺量：水泥掺量比重为 25%。

(4) 浆液水灰比：根据混合泥浆的状态进行调整为 1.5，现场每桶水泥浆液用水量、水泥量通过电脑计算配合比。

(5) 水泥固化液比重：一般为 1.37~1.44，根据实际施工情况进行拌制。

(6) 膨润土掺量：设计要求为 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(7) 每台班抽验一次挖掘液、固化液的比重，通常采用泥浆比重计现场检测。

(8) 具体根据视现场施工时间及周边环境条件进行水泥石土搅拌成墙作业，掘进速度应严格控制在 $40\text{mm}/\text{min}$ ，确保每天成墙为 15 至 30 延米。

2 TRD 工法水泥石土搅拌速度及注浆控制

(1) 根据设计要求 TRD 水泥石土搅拌墙在下沉和平移过程中均应注入水泥浆液，施工管理人员同时做好相关原始记录。(2) 使用电脑严格控制水灰比和水泥掺量来制备水泥浆液，浆液采用自动拌浆设备进行水泥浆液拌制。(3) 以浆液输送能力控制注浆量，施工参数注浆压力为 $1.5\text{Mpa} \sim 2.5\text{Mpa}$ ，须明确水灰比和水泥掺量，同时开钻前对拌浆工作人员进行技术交底工作。

2.1 墙体施工搭接处理

TRD 水泥石土搅拌墙体先施工与后施工部位搭接长度约 $30 \sim 50\text{cm}$ ，因此须严格控制切割箱在搭接区域的推进速度，从而使水泥固化液与水泥浆液充分进行混合搅拌。图示如下：

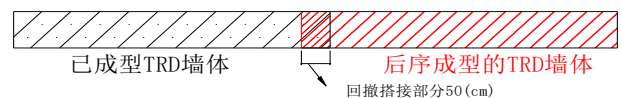


图3 水泥固化液与水泥浆液混合搅拌

对于基坑围护中三轴水泥搅拌桩与 TRD 工法等截面水泥石土搅拌墙交界处需增打一幅三轴水泥桩，并对冷缝加强处理，施工顺序应先施工三轴水泥搅拌桩再施工 TRD 水泥石土搅拌墙以达到良好的止水效果。如下图所示：

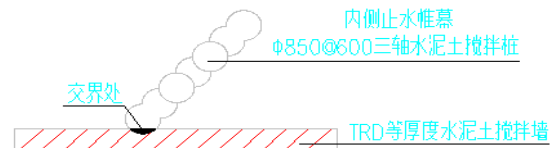


图4 施工顺序

2.2 H 型钢施工方法

(1) H 型钢表面涂刷减摩剂

施工中成立专业班组严格控制本工程使用 1#减摩剂。H 型钢的插入和顶拔是否顺利进行关键在于减摩剂的正

确使用。减摩剂的使用方法包括：

①先应清除 H 型钢表面的铁锈和污垢。②为避免减摩剂涂刷不均匀而容易产生剥落现象。应使用电热棒将减摩剂加热至完全熔化，方可在 H 型钢表面涂刷。③若遇到雨雪天气，此时 H 型钢表面比较潮湿，应提前擦干 H 型钢表面积水，然后再使用氧气或喷灯进行加热，方可涂刷减摩剂至 H 型钢干燥的表面层。

(2) H 型钢下沉

通过桩机定位装置控制 H 型钢就位，借助送桩锤和型钢的自重将 H 型钢插入 TRD 水泥搅拌墙体内。

①型钢顶定位误差 30mm，标高误差小于 20mm，根据现场测量班组测量的高程控制点及现场定位型钢高程来合理选择吊筋长度和焊接点，在型钢顶端 150mm 处开凿一孔径约 100mm 的中心圆孔，同时装好吊具和固定钩。

吊装作业采用 2 台履带吊相互配合起吊，起重量分别为 25T 和 75T，首先进行水平三点吊起 H 型钢，以保证型钢在吊装过程中不发生变形；按正负弯矩相等的原则进行计算确定吊点位置和数目，在型钢离地面 1m 高度后，再由 75T 的履带吊垂直起吊，25T 的履带吊水平送吊。

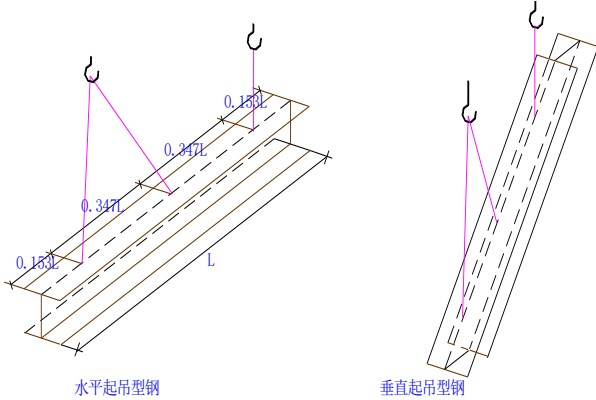


图 5 H 型钢吊装图

②用全站仪或线锤控制型钢插入垂直度。确保型钢定位卡牢固。将 H 型钢底部沿定位卡缓慢匀速垂直插入 TRD 水泥搅拌墙体内。

③应及时调整 H 型钢的水平和垂直度误差。

④下插过程采用全站仪和线锤控制 H 型钢垂直度，若 H 型钢下沉深度未达到设计要求，应缓慢提升 H 型钢至适当高度，重新下沉至设计深度。

⑤每根 H 型钢中焊接接头不得超过 2 个，且相邻型钢的接头应相互错开，错开间距须大于 1m。接头应分布在基坑底 2m 以下位置。

⑥H 型钢插入 TRD 墙体内 1m，并伸出冠梁 50cm。

2.3 H 型钢拔除

隧道敞开区结构施工完毕后，及时拔除 TRD 水泥搅拌墙体内的 H 型钢进行回收利用。具体拔除工艺如下：(1)首先在拔除过程中采用一台 75T 履带吊吊住 H 型钢，避免

发生失稳。使用最大起拔力 3460KN 的专用夹具及油压千斤顶以混凝土冠梁为支起点起拔 H 型钢。(2)按要求配制 1:1 水泥浆液，自流充填至 H 型钢拔出后的空隙内。

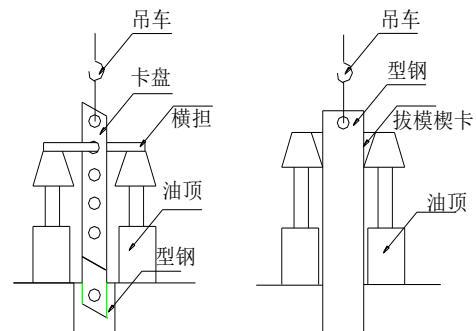


图 6 H 型钢顶拔过程示意

2.4 置换土及积水处理措施

(1) 水泥搅拌墙施工产生的置换土及沟槽开挖出的淤泥、杂填土应集中堆放在场区内指定地点，经过晾晒待达到一定强度后再进行外运处置。(2) 为防止由于涌土硬化而导致人力、物力、财力的投入增加，须及时对施工过程中产生的涌土进行铲除、平整。(3) 施工便道外侧每隔 50m 均设置集水坑。场地内积水采用集水坑抽排，按时抽排至场地内三级沉淀池内。每天安排专职管理人员负责清理，防止堵塞沉淀池。

2.5 施工技术控制措施

(1) 适当提高水泥掺量，最后再进行 TRD 水泥搅拌墙施工。(2) TRD 水泥搅拌墙施工区域内障碍物处理要求：①障碍物埋深小于 2.5m 的，可直接利用挖掘机开挖、破除，同时分层夯实回填素土。②障碍物埋深大于 2.5m 的，先使用长臂挖掘机进行简易放坡开挖、清除，再采用旋挖钻机进行破除、清理。

3 TRD 工法桩质量保证措施

3.1 施工技术保证措施

(1) 墙身垂直度偏差在 5% 以内，深度偏差小于 10cm，桩位放样偏差小于 2cm。(2) 配备专职管理人员负责管理水泥浆液配置，严格控制水泥浆液配比。(3) 上岗前必须先检查机械设备的工作性能，从而确保机械设备运转正常。设备由专人负责操作管理，施工前进行 TRD 桩机维修保养工作，以达到避免在施工过程中由于设备故障而造成 TRD 水泥搅拌成墙质量问题的目的。(4) 使用全站仪校核桩架垂直度，及时调整查看桩架垂直度指示针。(5) 对新进场的每批水泥进行复试试验，检测结果合格后方准投入使用，不得使用受潮、过期等不符合要求的水泥。

3.2 确保墙身均匀性与强度的方法

(1) 使用泥浆比重仪器按时检测水泥浆的比重，采取用水量总量来控制，做好每桶水泥用量及液面高度的计算。(2) 为保证施工质量，水泥浆与土应均匀搅拌，土体应切割搅拌充分。

3.3 TRD 水泥搅拌墙体检测方法

采用沟槽中置换出的水泥土浆液,根据质量检测相关规定:每台班做一组 $7.07 \times 7.07 \times 7.0 \text{cm}^3$ 水泥土试块,按标准条件养护,进行 28 天无侧限抗压强度试验,试块抗压强度不得小于 0.8MPa。

主控项目:(1)按照设计要求和国家现行标准的规定:挖掘液和固化液拌制选取的水泥原材料,其检验项目和相关技术指标应符合要求。(2)施工单位应在正式施工前制定详尽可行的检测方案并经各参建方认可后方可实行。在延长米方向每 30m 抽检数量不少于 1 个取芯孔来进行试块试验检测,全长取芯时,在每段等厚度水泥土连续墙上的取芯数量不宜少于 5 组,每组不宜少于 3 件试块。取样点应位于有效墙顶下 1m 处,测定 28 天水泥试块无侧限抗压强度值。

一般项目:TRD 水泥土搅拌墙允许偏差应符合下表的规定。

表 2 TRD 水泥土搅拌墙施工允许偏差值

序号	测量项目	允许偏差	检查方法
1	墙位偏差 (mm)	50	激光全站仪、卷尺检查
2	墙深偏差 (mm)	+100/-50	自卷尺检查
3	墙体垂直度	$\leq 1/200$	测斜仪监控

4 TRD 水泥搅拌墙施工应急措施

施工中可能遇到的情况做出提前预料并逐一加以分析说明,参照基坑周边环境、地质资料及支护结构特点,制定切实可行的抢险应急预案:(1)一旦发现地下综合管线(电力、通讯、给排水、天然气)走向不明确时,项目负责人须及时与建设单位、设计单位、勘察、监理单位共同讨论解决方案,并严格按照该方案执行。(2)为防止地下切割箱的四周发生凝结现象,在施工结束前排出膨润土并加以搅拌;若水泥浆的停止排放时间超过 15 分钟时,必须采用超过 2m^3 的清水排放至切割箱前端,同时防止水泥浆在配管里发生凝结;为防止注浆管及切割箱内、注浆管内的水泥浆发生凝结现象,最后须及时排出 $2\sim 3\text{m}^3$ 的清水。(3)必须配置备用发电机组,一旦停电可及时恢复压气供浆与正常搅拌作业。

5 地基承载力验算

TRD 桩机和履带吊均限定在施工便道范围内,施工便道采用原市政道路或采用 15cm 混凝土面层+80cm 厚塘渣层。路基已做地基承载力实验,实验报告为 300kPa。地基承载力验算包括 TRD 桩机和 75t 履带吊自重的地基承载力验算。

5.1 TRD 桩机地基承载力验算

TRD 桩机重量为 190t,接触面积为 $7.6\text{m} \times 6\text{m} = 45.6\text{m}^2$;
对地面压强: $(190\text{t} \times 9.8\text{N/Kg}) / 45.6\text{m}^2 \times 1.5$ (安全系数) = 61.25kPa

C30 混凝土轴心抗压强度根据《混凝土结构设计规范》

(GB 50010—2010) 表 4.1.4-1 可得为 14.3MPa > 61.25kPa, 混凝土路面满足承载力要求。

塘渣基础承载力验算:混凝土为刚性基础,扩散角取 45° ;

$$S = (7.6 + 0.15 \times \tan 45^\circ \times 2) \times (6 + 0.15 \times \tan 45^\circ \times 2) = 49.77\text{m}^2$$

$q = N/S = (190\text{t} \times 9.8\text{N/Kg}) / 49.77\text{m}^2 = 37.41\text{kPa}$, 小于地基承载力实测值 300kPa 的一半 150kPa。塘渣基础满足承载力要求。

5.2 75t 履带吊地基承载力验算

75t 履带吊重量为 66t, 吊装荷载最大为路基板重量为 5t, 接触面积为 $6.33\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2 = 10.128\text{m}^2$;

对地面压强: $(71\text{t} \times 9.8\text{N/Kg}) / 10.128\text{m}^2 \times 1.5$ (安全系数) = 103.05kPa

C30 混凝土轴心抗压强度根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 表 4.1.4-1 可得为 14.3MPa > 103.05kPa, 混凝土路面满足承载力要求。

塘渣基础承载力验算:混凝土为刚性基础,扩散角取 45° ;

$$S = (6.33 + 0.15 \times \tan 45^\circ \times 2) \times (0.8 + 0.15 \times \tan 45^\circ \times 2) \times 2 = 14.586\text{m}^2$$

$q = N/S = (71\text{t} \times 9.8\text{N/Kg}) / 14.586\text{m}^2 = 47.7\text{kPa}$, 小于地基承载力实测值 300kPa 的一半 150kPa。塘渣基础满足承载力要求。

6 结语

TRD 工法桩是最早起源于日本的一种新型水泥土搅拌墙,也称作“渠式切割水泥土连续墙”具有以下施工优点:一是施工深度大,国内已有 60~70m 的案例。二是适应地层广。三是成墙质量好,与传统工法相比较,水泥土墙上下搅拌均匀,止水效果好、离散型小。四是稳定性高,主机高度 8.7~12m,重心低、稳定性好。五是对周边土体影响小,TRD 工法在搅拌成墙、喷注水泥浆液过程中压力比 SMW 工法较小,特别是基坑围护紧邻保护建筑物或者管线、地铁的时候,对于周边土体影响较小。六是使用成本较低、经济性好。

综合 TRD 工法上述施工优势,与传统工法相比本工程选择该桩型进行隔离、止水、槽壁加固作业。

[参考文献]

- [1]张林. TRD 与旋喷桩组合工法在盾构端头加固中的应用研究[J]. 低温建筑技术, 2020, 42(2): 4.
 - [2]宋政法. TRD 工法结合高强 GZH 管桩精确送桩控制研究与应用[J]. 建材与装饰, 2018(39): 2.
- 作者简介: 房瑞霞 (1984.9—), 2008 年 7 月毕业于河南大学民生学院土木工程系, 现在宁波市斯正项目管理咨询有限公司担任总监理工程师职务。