

复杂地层码头超深 T 形桩墙成槽施工关键技术

周翰斌

(中交四航局第一工程有限公司, 广东 广州 510500)

摘要:超深 T 形桩墙在高水位的深厚软弱土层情况下成槽施工时,需要解决槽壁易坍塌及确保槽孔垂直精度大于 1/300 等两个重大技术难题。以埃及塞得东港集装箱码头二期工程 T 形桩墙施工为依托,对这两个重大技术难题的解决方法进行了研究,包括成槽设备选型以及槽壁预加固、导墙施工、泥浆制备、槽孔开挖等关键施工工艺和控制措施。结果证明,超深 T 形桩墙的槽孔垂直精度高、没有塌孔现象,成槽时间较短,成本低,能够保证工程质量,取得了良好的社会效益和经济效益。

关键词:超深 T 形桩墙;槽壁预加固;成槽施工;液压抓斗成槽机

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2011)S2-0213-04

作者简介:周翰斌(1969-),男,广东遂溪人,本科,高级工程师,主要从事路桥水工工程的技术工作。E-mail: zhanbin@gzpc.com。

Key technology of trench construction of super-deep T-shape pile wall for quay in complicated stratum

ZHOU Han-bin

(First Construction Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510500, China)

Abstract: In trench construction of super-deep T-shape pile walls in deep-weak soil layers high water level, with groove walls easy to collapse and vertical resolution of more than 1/300 are two technical issues to solve. Based on construction of T-shape pile walls for Port Said East Container Terminal-Phase 2 Marine Works in Egypt, solutions to the two technical puzzles are studied. The key construction technologies include selection of trench equipments, advance reinforcement of groove walls, construction of guide wall, production of slurry, and excavation of trench. The results show that the vertical resolution of super-deep T-shape pile walls is high without hole collapse. The trench can be finished with short time, low cost and good quality, and good social and economical benefits are gained.

Key words: super-deep T-shape pile wall; groove wall advance reinforcement; trench construction; hydraulic grab bucket

0 引言

相同截面积的超深 T 形桩墙与圆桩、方桩相比,其截面周长较大,抗弯模量大,可承受更大的竖向荷载与水平力,将其应用于软弱地层厚、承受的土压力差大、结构运营期间沉降要求严格等刚度要求突出的大型码头工程,可减少码头的工后沉降和墙体的水平位移,提高结构的使用性能,降低工程造价,具有明显的经济效益。但与“一”形连续墙相比,槽孔深度超过 50 m 的超深 T 形桩墙的成槽施工难度大,在保证安全质量前提下如何更好地解决槽壁在深厚软弱土层中容易坍塌难题,以及确保槽孔垂直精度大于 1/300,为 T 形钢筋笼顺利入槽到位提供保障成为迫切需要解决的问题。

埃及塞得东港集装箱码头二期工程地处苏伊士运河北端,北临地中海,码头岸线 1200 m,前沿水深-17.5 m,为 4 个现代化的深水泊位码头,主体结构基础采取地下连续墙桩式结构,共 886 个桩墙单元,墙体厚度均为 0.8 m。其中 T 形桩墙共 349 个单元,设计墙顶标高-1 m,墙底标准设计标高-55 m,由于地层厚度变化,墙底最低标高-58.5 m,最大成槽深度达 61 m。T 形桩墙之间为深度较浅的一形围幕连系墙,主体结构的桩墙平面布置见图 1。

工程所在地属于热带沙漠气候,春秋季节短,冬天平均最低气温 10℃,夏天平均最高气温 38℃,降雨量少。

场地高程+2.3~3.0 m,所处海域平均潮高+0.45

1 工程概况

收稿日期: 2011-08-02

m, 高潮位+0.75 m, 低潮位-0.05 m。地下水位标高+0.7~1.0 m, 水位变化受潮汐影响较为显著。

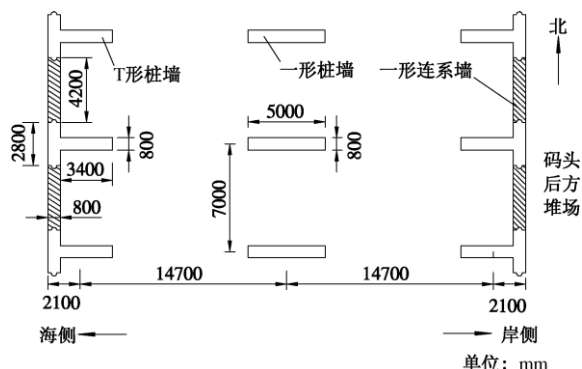


图1 桩墙的平面布置示意

Fig. 1 Layout of pile walls

场地主要土层: 回填土主要为中细砂及砾砂, 深灰—褐色, 稍密—中密, 层顶标高 1.6~7.43 m, 平均标贯击数 9.4; ②₁ 淤泥质黏土: 灰—深灰色, 软塑状, 混细砂, 含有机质、贝壳碎片, 层顶标高 4.51~-1.85 m, 标贯击数 1~5; ②₂ 粉细砂与淤泥质粉质黏土互层: 灰色, 含有机质及贝壳碎片, 呈薄层互层状, 层顶标高 7.19~-12.39 m, 标贯击数 5~32; ②₃ 粉细砂: 灰色, 中密—密实, 局部夹有粉土薄层, 混有贝壳及有机质, 层顶标高 1.52~-5.09 m, 平均标贯击数 35 击; ③ 淤泥质黏土: 灰色, 软塑状, 混有贝壳碎屑, 为有机质土, 层顶标高 -7.81~-16.39 m, 标贯击数 2~6; ④ 黏土: 灰色, 可塑状, 混有少量贝壳碎屑, 层顶标高 -16.59~-40.67 m, 标贯击数 6~36; ⑤ 细中砂层: 灰—灰绿—褐绿色, 中密—极密实状, 混有贝壳碎屑及夹杂薄—中等厚度灰色黏土, 层顶标高 -34.57~-63.48 m, 平均标贯击数 >50 击。整体上地质较复杂, 松散的回填土层、软塑状的淤泥质土层及粉细砂层厚度大, 对槽壁稳定性不利。

2 施工特点及技术难点

(1) T形桩墙作为主体结构的承重基础, 工后沉降要求高, 墙底的沉渣厚度要求不大于 50 mm。

(2) 存在深厚淤泥质土层及粉细砂层, 并在高水位情况下施工, 由于 T形槽壁临空面大, 施工扰动多, 阳角处易产生应力集中, 槽壁容易整体失稳或局部坍塌。

(3) 细中砂层的平均标贯击数 >50, 常规液压抓斗在该深度土层的成槽效率较低, 同时依靠抓斗自重冲击成槽的垂直度难以控制。但超深 T形槽壁的垂直度要求高, 必须确保其大于规范^[1]规定的 1/150 而达到 1/300 以上, 否则即使控制好 T形钢筋笼的起吊变形, 只要槽壁垂直度有一个方向达不到要求, 钢筋

笼就会被卡住而无法顺利入槽就位。

(4) 当地大型成槽设备较少, 需从国内调遣, 并且工期紧张, 总量 17 万多立方米的桩墙开挖量需在 15 个月内完成, 每天需完成约 300 m³ 的成槽量。

3 成槽设备选型

T形桩的成孔工艺是与地下连续墙相同的。在地下连续墙施工中, 成槽多采用液压抓斗成槽机施工。一般液压抓斗成槽机适用于较松软土层, 具有施工速度快、成本低等优点, 但本工程地表以下至 45 m 大多为淤泥质土层及粉细砂层, 液压抓斗在此土质区间频繁上下抓土、出土, 对槽壁扰动多, 极易造成 T形槽壁坍塌及沉渣过厚现象出现, 施工风险很高。另外, 普通抓斗式成槽设备在土层标贯击数超过 30 击则挖掘速度下降较快, 当超过 50 击则挖掘较难, 成槽速度仅为 0.3~0.5 m/h。而且超深 T形槽孔的垂直精度很难保证, JTJ303—2003 规程中的垂直精度控制 1/150 并不适用于 30 m 以下的 T形地下连续墙施工, 成槽垂直度控制不理想^[2], 很难满足 T形钢筋笼下放要求。

根据本工程的具体情况, 最适宜的成槽方法应是双轮铣槽机铣槽, 或者“抓铣结合”的成槽工艺, 即地表下 30 m 以上较松软土层采用液压抓斗成槽施工, 30 m 以下土层部分采用双轮铣设备成槽, 施工速度以及槽壁的防坍、垂直度能够得到保证。不过此种成槽工艺成本昂贵, 技术要求高, 同时国内的双轮铣设备很少, 难以满足施工进度要求。但可利用旋挖钻机的施工特点及其刚性钻杆能很好地控制垂直度的优势, 在液压抓斗挖槽前先采用旋挖钻机施工引导孔, 为成槽的垂直精度达到 1/300 以上提供保障, 同时也通过引导孔提供的临空面, 解决液压抓斗在极密实砂层中挖槽的技术瓶颈问题, 提高抓斗成槽机的作业工效。因此综合考虑, 将金泰 SG40A 型液压抓斗成槽机 4 台(另配备 1 台 SG35A 型液压抓斗成槽机作为备用)、金泰 SD28 型旋挖钻机 2 台、气举反循环设备配以 3 台宜昌黑旋风 ZX250 泥浆净化滤砂机作为本工程所有桩墙施工的主要机具, 3 种设备各取所长、优势互补、联合作业。

4 关键施工工艺及控制措施

4.1 施工平台修筑

首先对一、二期码头交界处的深达 18 m、长约 225 m 的深水区域进行回填, 其它区域也填筑出海侧桩墙施工所需的作业平台。平台面标高 +2.5 m, 平台向码头结构前沿延伸 14 m 宽, 外坡经稳定性验算按 1:3, 采用 1 m 厚砂袋护坡, 坡底设置堆石棱体。回填材料

采取砂：石：土按 4：4：2 的比例混合，由陆上堆填施工，碾压机压实；护坡采用先铺一层土工布后抛石护面的形式。填筑时埋设沉降管和位移观测管，定期观测平台沉降和位移情况。

4.2 槽壁预加固

T 形槽孔的阳角部位是槽壁最容易坍塌的薄弱区域，为确保槽壁的稳定性，在导墙施工前，对槽壁两侧的软弱土体进行水泥搅拌桩加固处理。搅拌桩的顶部为导墙底部的+1.1 m，底部高程根据土层情况及槽壁稳定分析^[3]的坍塌深度值综合确定，搅拌桩的桩径为 50 cm，两桩之间搭接 25 cm，桩边离导墙内侧 5 cm。

槽壁的土体预加固分为两个区域，第一个是长 225 m 深水区域，由于砂土回填时间短，较为松散，此区域桩墙的槽孔周边施工搅拌桩(图 2)，深度从+1.1 m 到穿透原状土 2 m，桩长不超过 18 m，遇护面块石的加固至块石顶面；第二个是其余的 225~1200 m 范围的区域，海侧 T 形槽孔的每个阳角处施工 3 根搅拌桩，深度从+1.1 m 到-16 m；岸侧 T 形槽孔则根据现场试桩结果不作处理。搅拌桩采取“四搅两喷法”施工，28 d 试块无侧限抗压强度标准值≥1.0 MPa。

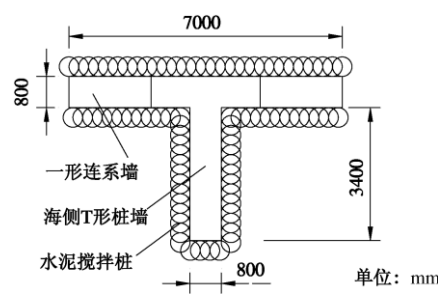


图 2 槽壁预加固的平面布置

Fig. 2 Layout of groove wall advance reinforcement

4.3 导墙施工

导墙在施工期间，对于连续墙的定位，防止槽壁坍塌起着至关重要的作用。为有效防止导墙产生变形、塌陷移位进而影响到 T 形槽壁的稳定，除了槽壁预加固外，还对开挖发现的导墙下存在 2~5 m 厚的极为软弱的淤泥层区域采取黏土混合料（掺入 10% 水泥）换填并碾压密实，对海测导墙区域存在的厚达 10 m 的松散砂土层采用二重管高压旋喷加固。导墙采取增加底板面积^[4]的“[”型整体式 C20 钢筋混凝土结构，净宽比连续墙厚度加大 5 cm，高 170 cm，顶板、底板及肋板均厚 20 cm，顶板、底板宽度分别为 80，120 cm。

4.4 泥浆类型及制备

泥浆质量控制执行欧洲标准“EN 1538 Execution of special geotechnical works -Diaphragm wall”

(January 2000)，见表 1。

表 1 泥浆性能参数指标(EN 1538-2000)

Table 1 Performance parameters of slurry (EN 1538-2000)

项目	施工阶段		
	新浆	循环浆	混凝土浇筑前
密度/(g cm ⁻³)	<1.10	<1.25	<1.15
黏度/s	32~50	32~60	32~50
失水量/(ml 30 min ⁻¹)	<30	<50	n.a.
pH 值	7~11	7~12	n.a.
含砂率/%	n.a.	n.a.	<4
泥皮厚度/mm	<3	<6	n.a.

说明：1、n.a 为不适用。2、黏度使用 1500/946ml 的马氏黏度漏斗来检测。

EN 1538 标准对于新浆的密度要求是针对于一般形式的地下连续墙，本工程由于超深 T 形桩墙在软弱土层和粉细砂层厚、临海高水位的特殊工程环境下施工，成槽受重型机械以及其他工序干扰较大，经计算各层松软土层在泥浆比重为 1.08~1.15 时槽壁稳定可得到保证，正式施工前进行的 4 次试成槽施工也证明了较大的泥浆密度更有利于槽壁稳定，因此采用了“高屈服型膨润土+重晶石粉+CMC”配制的复合膨润土泥浆，泥浆密度稍大于 EN 1538 标准的要求，但其它施工过程的泥浆指标符合该标准要求，得到了咨询工程师的允许。因此泥浆性能指标控制为：制备后经 12~24 h 膨化的新浆密度控制在 1.08~1.13 g/cm³，黏度控制在 40~50 s；循环泥浆的密度控制在 1.15~1.25 g/cm³，黏度 40~60 s。

施工过程中由于土层变化及时调整泥浆指标，膨润土掺量一般控制在 4.5%~5.5%，重晶石的掺量一般控制在 6%~8%，CMC 掺量控制在 0.03%~0.1%；泥浆使用 1 个循环之后，利用泥浆净化滤砂机进行分离净化并补充新制泥浆，恢复原有的护壁性能，提高泥浆的重复使用率。

4.5 挖槽施工

挖槽顺序总体上采取从一、二期码头连接部开始向南推进，由海侧向岸侧展开流水作业。先进行 T 形桩墙的成槽施工，再施工一形连系墙，并且 T 形桩墙跳幅施工。经 4 次试成槽试验，确定 T 形桩墙的成槽施工方法如下：

(1) 采用旋挖钻机按图 3 所示施工 4 个引导孔，挖孔时控制钻头慢速、平稳出入槽孔，钻头中心与引孔中心偏差不得超过 25 mm，密切注意并利用垂直度检测仪表及纠偏装置保证引导孔垂直度达到要求。

(2) 采用液压抓斗成槽机按图 3 所示的挖土顺序进行挖槽，抓斗入槽、出槽应慢速、平稳，并通过自带的垂直度检测仪表及自动纠偏装置随时纠偏，以确保槽孔的垂直度偏差小于 1/300。挖槽时始终保持槽内

泥浆面不低于导墙顶面 0.4 m 及地下水位 1.5~2 m 以上,并准备堵漏措施,储备足够泥浆。

(3) 开挖一定高度后,采用 KODEN DM602/604 型超声波测壁仪对已完成的槽孔进行垂直度检测,不满足要求的部位采取修正措施。

(4) 达到设计深度后,首先利用成槽机抓斗将底部泥渣抓出,然后采用气举反循环工艺配合滤砂机除砂进行清孔,气举清孔的 6 m^3 空压机压力控制在 0.7~0.9 MPa。以槽孔上、中、下位置的泥浆检测指标作为清孔是否完成的依据,一般情况下当泥浆含砂率 $<4\%$,密度 $<1.15\text{ g/cm}^3$ 时,停止清孔,进入钢筋笼吊装工作。

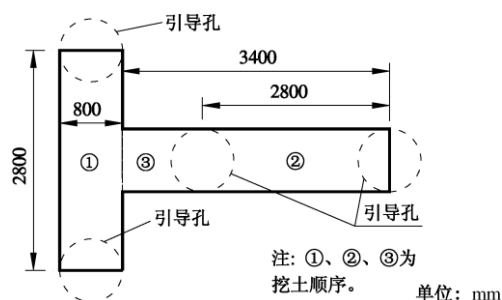


图3 引导孔及挖土顺序布置图

Fig. 3 Layout of sequence for leading holes and excavation

5 结 语

超深 T 形桩墙在临海高水位及深厚软弱土层施工,比同等条件下的一形地下连续墙要困难得多。通过对其成槽施工中的重大技术难题进行研究,使埃及塞得东港集装箱码头二期工程顺利并已经提前完成,完成单个 T 形槽的成槽时间在 40 h 以内。通过检测,槽壁的垂直精度达到 1/550~1/600,没有发生塌方现象,平均扩孔系数仅为 1.04,钢筋笼吊装就位的一次成功率达 100%,超声波检测 I 类桩达到 97%。该工程统计,“四钻三抓”工艺可比双轮铣设备施工降低成本 50%,以下可为类似条件下 T 形、L 形、Z 形等异形地下连续墙施工借鉴。

(1) 深厚软弱地层的超深异形地下连续墙成槽施工中,导墙、泥浆配比、设备及成槽工艺是制约质量、进度、成本很重要因素。

(2) 采用水泥搅拌桩对 T 形槽壁特别是阳角部位进行预加固,以及高性能复合膨润土泥浆的联合作用,保证了施工安全,可杜绝由于塌槽掩埋成槽机抓斗或钢筋笼的事件发生,避免重大经济损失,取得很好的整体效果。

(3) 采取旋挖钻机施工引导孔配合液压抓斗成槽机的“钻抓结合”工艺,并通过挖槽过程中采取随时的监控与纠偏措施,可使槽壁的垂直精度达到 1/550 以上,为 T 形钢筋笼顺利入槽就位奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] JTJ 303—2003 港口工程地下连续墙结构与施工规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2003. (JTJ 303—2003 Design and construction technical code for diaphragm wall structure of port engineering[S]. Beijing: China Communications Press, 2003. (in Chinese))
- [2] 郑 宏, 傅金栋, 宋 凯, 等. 天津滨海新区 61 m 深异形地下连续墙施工技术[J]. 施工技术, 2010(10): 20 - 23. (ZHENG Hong, FU Jin-dong, SONG Kai, et al. Construction technology of 61m-deep and special-shaped diaphragm wall in Tianjin Binhai New Area[J]. Construction Technology, 2010(10): 20 - 23. (in Chinese))
- [3] 张厚美, 夏明耀. 地下连续墙泥浆槽壁稳定的三维分析[J]. 土木工程学报, 2000(1): 73 - 76. (ZHANG Hou-mei, XIA Ming-yao. 3D stability analysis of slurry trenches[J]. China Civil Engineering Journal, 2000(1): 73 - 76. (in Chinese))
- [4] 李 赞. 深圳地铁田贝站入岩地下连续墙施工技术[J]. 施工技术, 2010(1): 50 - 51. (LI Zan. Construction technology of rock-socked diaphragm wall in Tianbei Station of Shenzhen Metro[J]. Construction Technology, 2010(1): 50 - 51. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)