

高水头吹填土层地下连续墙槽壁稳定控制

张宇

(中交一航局第五工程有限公司)

摘要: 泥浆护壁是地下连续墙施工中应用最广泛的护壁方式,当地下水水头较高时,护壁泥浆难以通过渗透作用在槽壁表面形成有效厚度的泥皮,易发生槽壁坍塌。吹填土层主要成分为粉砂及淤泥,基本无黏聚力,受扰动后易产生触变现象,进一步加剧槽壁坍塌风险。为保障施工质量、确保槽壁稳定,以唐山某翻车机房项目为工程实例,针对高水头吹填土层区域地下连续墙槽壁稳定问题,分析影响因素,通过优化泥浆配比并辅以高压旋喷桩及钢板桩等槽壁预加固方式,有效保障了槽壁稳定,可为同类工程提供技术参考。

关键词: 地下连续墙; 泥浆护壁; 高水位; 吹填土

1 工程概况

1.1 项目概述

唐山某翻车机房项目场地前期为近海岸浅滩地貌,后经人工围海吹填形成陆地,场地整体较平坦,局部分布土堆和建筑垃圾。上部为素填土和吹填土层,吹填土层约在2010年经过无填料振冲处理,场地整体采用满夯法进行处理,满夯2遍,夯击能1000 kN·m,满夯处理完成后回填0.3 m山皮石整平碾压,压实度不小于0.94,交工地地基承载力特征值不小于120 kPa。

翻车机房区域基坑深度20.1 m,为内径68 m的圆形,围护结构采用现浇钢筋混凝土连续墙方案,墙厚1.3 m,共由40段组成,墙顶标高+2.2 m,底标高-27.6 m,槽深29.8 m,每槽段弧长中心线长度5443 mm。廊道区域长约150 m,地下连续墙厚1.0 m,共由57段组成,其中底标高为-27.6 m的地下连续墙有32段,底标高为-18.0 m的地下连续墙有25段。沿地下连续墙长度方向通长布置倒L地连墙导墙,导墙深度2 m,顶标高+5.0 m,导墙范围内采用8%水泥稳定砂换填。

1.2 地质与水文条件

根据地质勘察报告,地下连续墙施工深度范围内地层自上而下主要为:1)素填土(Q^m):0.5~0.8 m厚①₁碎石(素填土)、①₂粉砂(素填土);2)吹填土(Q^m):3.8~5.1 m厚④₄粉砂(吹填土);3)海相沉积层(Q₄^m):②₁粉砂、②₂粉砂夹黏性土混砂、②₂₋₁粉砂、②₃粉质黏土夹砂混黏性土、②₃₋₁粉土及②₄黏土;4)海陆交互相层(Q₄^{mc}):③₁粉

质黏土。潜水水头介于+3.73~+4.09 m之间,该水头处土层为粉砂(吹填土),以轻微液化为主,为稍密—中密状,土质不均匀,混少量淤泥土薄层。

2 地下连续墙施工工艺

地下连续墙施工工艺流程如图1所示。

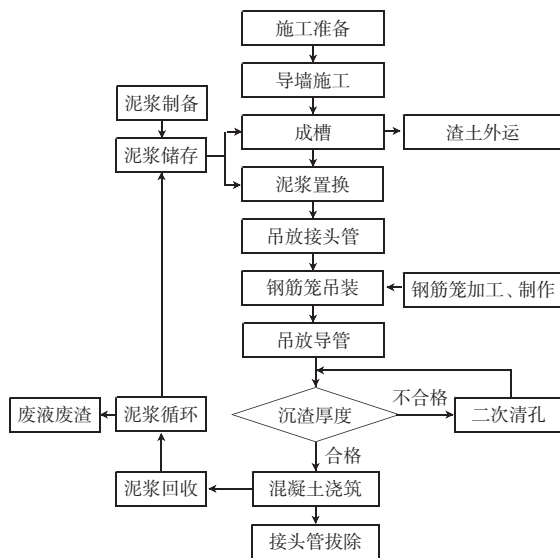


图1 施工工艺流程图

地下连续墙施工通常采用人造泥浆护壁,泥浆在压力差的作用下,泥浆颗粒向槽壁内侧土体渗透形成泥皮,将有效作用力作用在泥皮上以抵消失稳作用力^[1]。泥浆投料顺序为水、膨润土、外加剂,采用高速回转式搅拌机或喷射式搅拌机进行泥浆搅拌,搅拌时间5~10 min,搅拌完毕后注入储浆池,静置24 h后待用。

在地下连续墙施工过程中,泥浆与地下水、砂、土、混凝土等接触,膨润土、外加剂等成分会有所消耗,而且也会混入一些土渣和电解质离子等,使泥浆受到污染而性质恶化。首先对置换出的泥浆采用泥浆分离器进行物理筛分,经检测后根据结果补充掺入泥浆材料进行再生调制,经再生调制的泥浆,送入储浆池,待新掺入的材料与处理过的泥浆完全融合后再重复使用。

3 塌槽情况与分析

3.1 槽段统计

工程初期采用水、膨润土、纯碱进行护壁泥浆配备,水:膨润土:纯碱=1 000:100:5,配置后泥浆重度 11.5 kN/m^3 ,黏度 22.7 s ,pH 值 8.2 。根据超声波探测情况,对现场前期施工 8 幅槽段进行统计,无塌槽槽段 2 幅,轻微塌槽槽段 3 幅,严重塌槽槽段 3 幅。塌槽范围主要集中在作业面以下 3~8 m 深度,塌槽时间均在成槽施工过程中。

经过初步调整泥浆组分和配比,选用水、膨润土、CMC 羧甲基纤维素、纯碱进行泥浆配备,水:膨润土:CMC:纯碱=1 000:100:5:5,配置后泥浆重度 11.5 kN/m^3 ,黏度 28.5 s ,pH 值 8.1 。对现场施工 7 幅槽段进行统计,无塌槽槽段 3 幅,轻微塌槽槽段 2 幅,严重塌槽槽段 2 幅。塌槽范围主要集中在作业面以下 3~6 m 深度,塌槽时间发生在成槽施工过程中 3 幅,下钢筋笼过程中 1 幅。

根据超声波检测结果,如图 2 所示,主要塌

槽范围集中在作业面以下 3~6 m 深度,结合地勘报告,该部位位于吹填土土层底部。其中部分塌槽严重,存在抓斗被掩埋风险,因未开挖至底部,未进行超声波检测。

3.2 塌槽分析

1) 地质因素

根据地勘报告,吹填土层局部混少量淤泥土薄层,土体中淤泥质土薄层区域流塑性较大,成槽过程中在上部土体重力作用下被压出,破坏泥浆护壁效果,形成连锁塌槽。

2) 地基处理影响

本工程场地采用满夯法进行处理,满夯 2 遍,夯击能 $1 000 \text{ kN}\cdot\text{m}$,夯击能较小。在该夯击能情况下,粉砂土层有效加固深度为 3~4 m,无法完全消除吹填土层液化。

3) 换填施工影响

导墙区域采用 8% 水泥稳定砂换填,换填深度为 2.5 m,本工程塌槽范围集中在作业面以下 3~6 m 深度,可排除换填密实度等因素影响。

其次,导墙换填时对底部土层存在扰动或泡水等情况,导致底部部分土体性能破坏或发生液化,成槽过程中泥浆护壁不足以抵抗该部分土体变形,破坏泥浆护壁造成塌槽。

4) 地下水位影响

采用等效应力法进行初步计算分析,假设计算点处槽壁处于临界稳定状态,不考虑泥皮所抵抗作用力,槽壁内水平应力处于平稳状态,即泥浆压力与土压力及地下水压力之和相等^[2]。

$$0.5\gamma_1 h^2 = 0.5\gamma K_a h^2 + 0.5\gamma_w H^2 \quad (1)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (2)$$

式中: γ_1 为泥浆重度, kN/m^3 ; γ 为土体重度, kN/m^3 ; γ_w 为水的重度, kN/m^3 , 取 9.8 ; h 为计算点深度, m , 按泥浆液位在导墙顶面以下 100 mm 考虑; H 为地下水水头距计算点深度, m , 水头高度按 $+4.0 \text{ m}$ 考虑; K_a 为计算点处土的主动土压力系数; φ 为土的内摩擦角, $(^\circ)$ 。

根据式(1)可知,在其他条件确定情况下,地下水水头越高,对槽壁侧向压力越大;当地下水水头高于导墙底 0.2 m 时,其水压力大于土体侧向压力,且影响比例逐步增大,是影响槽壁稳定性的主要因素。

经计算,不考虑泥皮所抵抗作用力,在泥浆重度 11.5 kN/m^3 情况下,吹填土层临界平衡深度

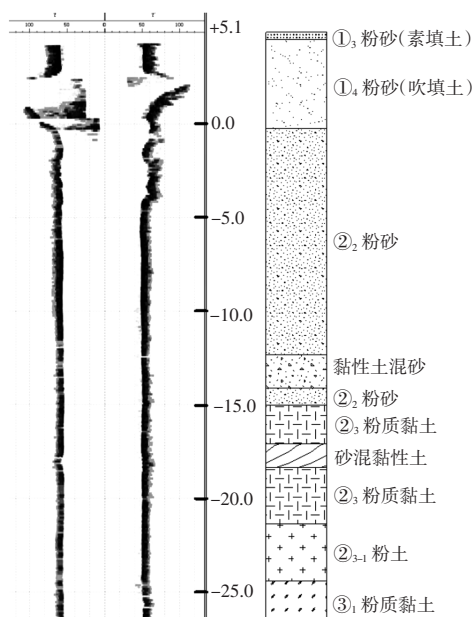


图 2 超声波检测及地层图(m)

为 4.2 m。按吹填土层最大深度约 6 m 进行计算, 泥浆重度不得小于 11.8 kN/m³。

5) 周边环境的影响

受外部因素影响, 在地下连续墙施工过程中, 周边高压旋喷桩需同时施工, 受其高压水、高压空气的影响, 通过土层间空隙与地连墙槽段形成通路, 主要表现为成槽过程中槽壁内冒出气泡或反水。导致泥皮局部破坏, 影响泥浆护壁效果, 造成塌槽; 且水、气通路进一步造成土体破坏, 加剧塌槽影响。

6) 作业时间过长

根据统计前期施工 10 幅塌槽槽段, 塌槽主要集中在成槽过程中, 仅 1 幅槽段为下钢筋笼阶段, 成槽完成后塌槽区域已相对稳定, 施工工序衔接及作业时长满足成槽与浇筑混凝土间隔不大于 4 h 要求, 可排除其影响因素。

7) 槽段形状

前期施工部分均为圆弧形或一字形, 未进行异形槽段施工, 可排除其影响因素。

8) 泥浆指标变化

经对成槽过程中泥浆性能抽查统计分析, 成槽前、成槽过程中、成槽后泥浆比重、黏度、含砂率等性能指标均存在一定波动。其中泥浆比重变化无规律; 黏度整体呈现减小趋势, 变化幅度较小; 含砂率在成槽过程中整体呈现增大趋势, 且变化幅度相对较大。通过分析可知, 在泥浆循环作用下, 泥浆比重、黏度、含砂率变化前后性能指标均能满足规范要求, 可排除其影响因素。

4 处理措施

结合工程需求及相关措施投入费用等情况, 主要采取改善泥浆性能、减少周边影响措施, 针对异形段等局部区域, 采用预先槽壁加固方式, 从而保证槽壁稳定, 不发生严重塌槽。

4.1 过程中塌槽处理

成槽过程中槽壁坍塌程度较为严重区域, 需立即停止成槽作业, 将挖槽设备提至地面, 防止被掩埋。同时采用 8% 掺量水泥拌砂回填至作业面, 待固化不小于 7 d 后重新成槽。

4.2 降低地下水水头高度

根据槽壁稳定分析公式可知, 地下水为影响槽壁稳定性主要因素, 可利用基坑开挖降水井及疏干井, 降低槽壁内外侧地下水位, 减少地下水水头高度对槽壁稳定性影响。本工程受外部因素

影响, 未能采用该措施。

4.3 泥浆性能改善

根据地质勘察报告及实体施工情况, 结合相关措施, 经过调整完善, 最终采用水、膨润土、聚丙烯酸钠、纯碱、重晶石粉进行泥浆配备, 其配合比为水:膨润土:聚丙烯酸钠:纯碱:重晶石粉 = 1 000:100:2:5:10, 配置后泥浆性能重度 11.9 kN/m³, 黏度 29.5 s, pH 值 8.3。

膨润土选用钠基膨润土, 以确保泥浆黏度, 增大泥皮所能抵抗作用力。分散剂由 CMC(羧甲基纤维素)调整为聚丙烯酸钠, 稳定性更强, 减少泥浆性能波动^[3]。增加重晶石粉, 用以增大泥浆比重, 确保泥浆能够有效抵抗侧壁水土压力^[4]。

4.4 预先槽壁加固

异形段区域是易发生槽壁坍塌部位, 且施工时间较为靠后, 具有一定的机动时间, 采用高压旋喷桩进行预先槽壁加固(图 3)。在导墙两侧打 $\phi 600$ 高压旋喷桩, 打设深度 10 m, 桩间搭接 100 mm, 水泥掺量 20%, 待该槽段两侧高压旋喷桩施工完成不少于 7 d 后再进行槽段成槽施工。

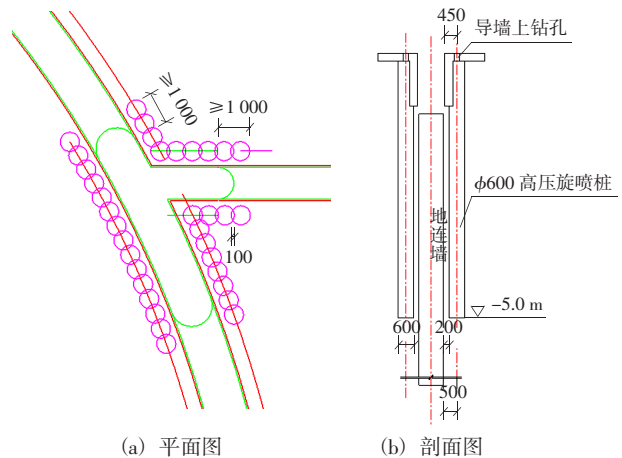


图 3 高压旋喷桩加固示意图(mm)

施工过程中连续塌槽区域主要受地质淤泥土薄层影响, 且根据施工安排需顺序作业, 采用钢板桩进行预先槽壁加固。钢板桩可根据周边市场情况选用, 加固范围需根据地勘报告及实际施工情况确定。

4.5 减少周边环境的影响

根据地下连续墙施工顺序及部位, 做好周边施工分项的协调管理, 确保周边施工分项作业距离不小于 20 m, 对于地层等有扰动的作业距离不

小于 30 m，以减少对地下连续墙槽壁的影响。

5 应用效果

结合现场情况，本工程主要采用的措施包括泥浆性能改善、预先槽壁加固（高压旋喷桩、钢板桩），均有效改善了槽壁坍塌情况，后续成槽过程未出现塌槽严重情况。

通过改善泥浆性能处理槽段共计 57 幅，无塌槽槽段 41 幅，轻微塌槽槽段 16 幅（塌槽范围 3~4 m），无严重塌槽情况。廊道与翻车机房衔接区域异形段槽段共 2 幅采用单排长 10 m，直径 600 mm、间距 500 mm 的高压旋喷桩支护，无塌槽情况。廊道区域经分析后续可能存在连续塌槽区域共 8 幅槽段采用长 12 m 钢板桩支护，无塌槽槽段 6 幅，轻微塌槽槽段 2 幅，无严重塌槽情况。

本工程基坑开挖后，经对地下连续墙墙体情况观察，采用以上处理措施后槽壁“鼓包”情况有显著改善。

采用调整护壁泥浆性能受施工过程、地质条件、泥浆波动等不确定因素影响，仍存在轻微槽壁坍塌情况；采用高压旋喷桩槽壁加固处理无槽壁坍塌情况，对于槽壁稳定具有较好效果；采用钢板桩槽壁加固处理由于导墙影响，钢板桩距槽壁存在一定距离，存在轻微槽壁坍塌情况。

6 结语

针对高水头吹填土层，前期工作的关键在于

确保地勘成果与吹填土层处理方案的适配性，或采用换填等方案，确保吹填土层满足地连墙施工条件；同时需制定相关措施，减少前序施工分项对土体的扰动。施工过程中可采用改善泥浆性能、预先槽壁加固方案加强槽壁稳定，必要时可采取设置降水井方式，降低地下水水头对槽壁稳定影响。

采用调整护壁泥浆性能可有效改善高水头粉砂土层槽壁坍塌情况，且泥浆可循环利用，增加成本较低，但需根据施工情况不断调整试验，才能确定高水头吹填土层适用性较强的泥浆配比，需要一定的时间成本。采用高压旋喷桩槽壁加固工艺可较处理好高水头粉砂土层槽壁坍塌情况，但措施费用较高，需提前规划，从设计角度出发以减少因此产生的措施费用。采用钢板桩加固工艺可有效处理高水头粉砂土层槽壁坍塌情况，其增加措施成本相对较低，且可在较短时间内处理完成，适用于工期压力较大情况。

参考文献：

- [1] 李小保. 微承压水地层中减压井降水在地下连续墙中的应用[J]. 上海建设科技, 2012(1): 51-52, 60.
- [2] 吴亚丽, 迟宁, 曹晓立, 等. 高水头承压水对地下连续墙槽壁稳定性影响分析[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(8): 162-164.
- [3] 资晓鱼, 申玉生, 连正, 等. 超深地下连续墙槽壁位移及泥浆配制技术研究[J]. 路基工程, 2021(2): 140-147.
- [4] 张海波, 柳伟, 李建高, 等. 复杂条件下超深地下连续墙泥浆的使用及性能[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(1): 166-170, 176.