



滨州港大面积真空预压软基处理密封工艺

张 哲, 张 力, 左志刚, 李伟昊, 相如昕

(交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津水运工程勘察设计院有限公司, 天津 300456)

摘要: 针对滨州港大面积真空预压软基处理施工过程中遇到的加固区面积大、粉细砂夹层厚度大、埋深大的问题, 加固区外边界使用黏土密封墙密封, 加固区内部各分区之间压膜沟采用人工浅挖并将相邻内部分区密封膜在压膜沟处错层交互粘接后用砂袋压固。加固效果检验结果显示加固区土质得到明显改善。该工艺能减少开挖工作量、缩短工期、节约成本, 可为类似工程提供借鉴。

关键词: 真空预压; 压膜沟; 密封墙; 抗剪强度

中图分类号: U 655.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)09-0178-04

Large-area vacuum preloading soft foundation treatment and sealing technology in Binzhou Port

ZHANG Zhe, ZHANG Li, ZUO Zhi-gang, LI Wei-hao, XIANG Ru-xin

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T., Tianjin Survey and Design Institute for Water Transport Engineering Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

Abstract: The large-area vacuum preloading soft foundation treatment of Binzhou Port encountered a large area of reinforcement, a large thickness of silty sand interlayer, and a large buried depth during the construction process. In response to these problems, a process is adopted. That is: the outer boundary of the reinforcement area is sealed with a clay sealing wall; and the pressure film trenches between the partitions in the reinforcement area are artificially shallowly excavated, and the adjacent internal partition sealing films are alternately bonded at the pressure film trenches and then pressed with sandbags. The test results of the reinforcement effect show that the soil quality in the reinforcement area has been significantly improved. The technology can reduce the excavation workload, shorten the construction period, and save costs, which can provide a reference for similar projects.

Keywords: vacuum preloading; film-pressing groove; sealing wall; shear strength

真空预压加固软基要求场地密封良好, 通常在加固土体上部铺设 2~3 层密封膜来隔绝大气、加固土体侧面采用压膜沟或密封墙切断与加固区外部土体的流体渗透, 以确保加固区内部的密封性^[1-3]。工程界普遍将渗透系数 $k < 10^{-5}$ cm/s 的土层视为不透气土层^[4-5], 反之则视为透气土层, 需要增加辅助密封措施, 如在加固土体周边布置压膜沟、黏土密封墙等。根据规范^[6], 真空预压的单个分区面积宜为 2 万~3 万 m², 相邻分区之间

设置压膜沟用于密封, 压膜沟应挖断透气土层并挖至不透气土层顶面以下至少 0.5 m。当加固区不存在透气土层时, 压膜沟仅需浅挖便可满足规范要求; 但当加固土体有透气土层分布时, 特别是透气土夹层较厚、埋深较大时, 若严格按照规范要求施工, 工作量将显著增加, 须借助挖机进行开挖, 这将对压膜沟处已经打设好的塑料排水板造成损伤。当加固区面积较大时, 压膜沟的开挖工作量及工程造价将会进一步加大。各分区之间

收稿日期: 2020-12-23

作者简介: 张哲(1987—), 男, 硕士, 注册一级建造师, 工程师, 从事水运工程设计及施工研究。

采用黏土密封墙进行密封虽是一种有效的办法,但却受黏土密封墙施工周期长、造价高的影响致使项目工期紧张、效益降低。因此探索一种适用于加固区面积大且透气土层厚度大、埋深大条件下的真空预压密封工艺,具有较高的实用价值。

针对滨州港大面积真空预压软基处理施工过程中遇到的加固区面积大、透气土夹层厚度大、埋深大的问题,采取了加固区外边界使用黏土密封墙密封,加固区内部各分区之间压膜沟采用人工浅挖并将相邻内部分区密封膜在压膜沟处错层交互粘接后用砂袋压固的工艺。真空抽气期间,膜下真空度始终保持在 85 kPa 以上;经加固后效果检验,加固区土体抗剪强度显著提高、含水率明显下降;同时起到了减少开挖量、缩短了工期、节约成本的效果。

1 工程概况

滨州港某陆域形成项目在近岸水域通过吹填形成陆域面积约 85 万 m²,吹填土平均厚度 9 m,吹填土下部分布有约 10 m 厚度的天然沉积软土,待处理软土厚度合计约 19 m,软基处理具有面积大、深度大的特点。采用浅层抽水固结与深层直排式真空预压相结合的方式进行软基处理。浅层真空预压采用人工插设塑料排水板的方式对表层 4 m 的软土进行处理,并使场地表层形成一层“硬壳”,为深层真空预压的开展提供了条件。

根据场地地形结合规范要求,深层真空预压阶段将场地划分为 33 个分区,详细分区情况见图 1。

方便起见,选取场区中间部位的第 18 分区进行研究,通过分析该分区在加固前后土体改善情况,说明所述工艺的可行性。根据深层软基处理开始前勘察资料,该分区由上至下土层分布为淤泥质土 7.6 m、粉细砂夹层 2 m、淤泥质黏土 9.1 m、粉细砂 2.1 m、底部为粉质黏土,土层分布见图 2。

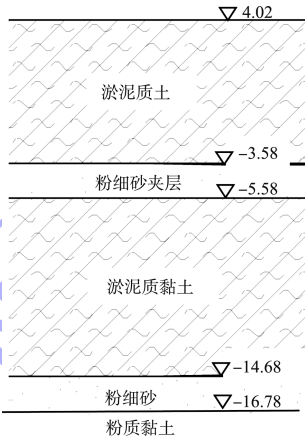


图 2 土层分布 (单位: m)

由图 2 可知,淤泥质土和淤泥质黏土层中间分布有 2 m 厚的粉细砂夹层,粉细砂渗透系数约为 10⁻⁴ ~ 10⁻³ cm/s^[7],大于 10⁻⁵ cm/s,属透气土层。该砂层分布高程-5.58~-3.58 m,埋深较大。通过查阅地质资料得知,该粉细砂夹层在场区呈贯穿性分布且与场地外部透气性土体连通,本工程塑料排水板施工底高程-14.18 m,穿越该粉细砂夹层,将会对真空预压的密封性产生影响。

表 1 土体物理指标

土层	含水率 w/%	直剪快剪		水平渗透系数 k _h /(10 ⁻⁷ cm·s ⁻¹)
		黏聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	
淤泥质土	31.6	7.1	2.1	1.4
淤泥质黏土	57.7	6.1	1.7	1.6
粉质黏土	25.3	18.1	28.8	6.2

表 1 给出了土体的相关物理指标,经过浅层软基处理后的表层淤泥质土和淤泥质黏土这两层土含水率较高、抗剪强度指标较差,需进行处理。现场采用塑料排水板作为土体竖向排水通道,排水板底端采用沥青密封并施工至淤泥质黏土层底部以上 0.5 m(高程-14.18 m),确保不受下部粉

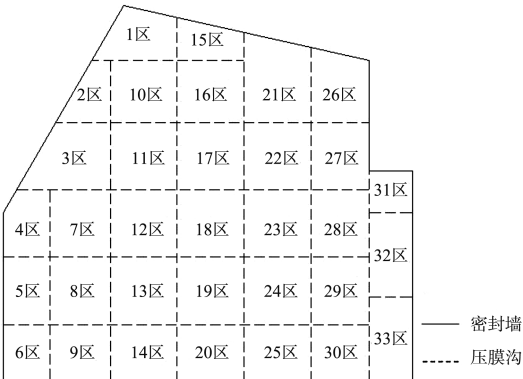


图 1 真空预压软基处理平面分区

细砂层的透气性影响。

按照规范要求，须在场地 33 个分区之间设置压膜沟进行分隔。若严格按照规范进行开挖，各分区之间压膜沟底部须开挖至淤泥质黏土层顶部以下至少 0.5 m，开挖深度达 10.28 m，放坡开挖时开挖断面顶部宽度接近 7.0 m，不仅开挖工程量大、工期长，且开挖将会损伤压膜沟周边排水板，对软基处理效果造成影响。

规范要求单个分区面积宜为 2 万~3 万 m²，主要基于两点原因：一是密封膜面积过大将导致运输与铺设困难；二是当单个分区出现漏气情况后，可有针对性地进行修复且不会对其他分区造成影响。基于上述分析，若能保证整个软基处理场区与外界严格密封，在真空泵数量足够的前提下，场区内部各分区之间即便互相通气，对真空预压处理效果也将无影响。

为确保真空预压处理效果，可采取下述措施：

- 1)场区外边界施打黏土密封墙，切断场区内部透气土层与外界联系，形成“隔离体”；
- 2)各分区之间压膜沟采用人工浅挖，相邻分区之间密封膜交错搭接黏合并用砂袋压固，确保不漏气；
- 3)真空泵数量不低于规范要求的最低数量；
- 4)真空预压抽气过程中，加大密封膜漏气排查频率，做到早发现、早处理。

2 工艺要求

2.1 黏土密封墙

沿整个软基处理场地的外边界布置一圈黏土密封墙，密封墙位置见图 1。密封墙喷浆拌和范围由地面至粉细砂夹层底部以下约 1.5 m，本工程密封墙底高程-7 m。密封墙采用双轴拌和、4 喷4 搅工艺，单轴搅拌叶片直径为 0.7 m，桩间搭接0.2 m，误差在 0.05 m 以内，拌和后宽度为1.2 m，黏土密封墙平面大样见图 3，现场施工照片见图 4。

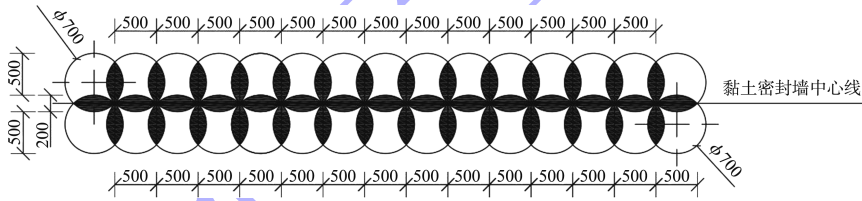


图 3 黏土密封墙平面大样（单位：mm）



图 4 黏土密封墙施工现场

黏土密封墙施工质量控制指标见表 2。拌和用的黏土选择黏粒含量高、渗透系数小的土料，选择的土料要纯、不含杂质。施工前做好室内拌和配合比试验，确保黏土密封墙成型后黏粒含量不小于 20%，渗透系数小于 10⁻⁶ cm/s。若拌和区段的土性差别太大时，应分区段进行配合比试验。

黏土密封墙在正式施工前应进行试验段施工，以便确定最佳施工参数、确保密封墙的施工质量。

表 2 黏土密封墙质量控制指标

主要项目	允许偏差值	检测方法
配浆黏土的黏粒含量	≥40%	取土试验,1 组/批
泥浆密度检验	1.3	密度计测试,每罐
搅拌桩位置	±5 cm	用钢尺量
搅拌桩垂直度	±1%	导架上刻度盘指针目测
搅拌桩桩位搭接	±5 cm	用钢尺量
密封墙深度	±10 cm	搅拌杆标记目测
密封墙渗透系数	10 ⁻⁶ cm/s	取样、检测

2.2 压膜沟

场区内部各分区之间压膜沟底部开挖至地表以下至少 0.5 m，为减少对压膜沟周边塑料排水板的损伤，采用人工开挖。处理区内部压膜沟位置见图 1。开挖压膜沟时沟内塑料排水板不剪断，沿

沟边向上与滤管连接。铺设密封膜前铺设 1 层 200 g/m²无纺土工布, 土工布沿沟底铺满, 相邻两个分区之间的土工布用手工缝线机紧密缝合。密封膜采用 3 层聚氯乙烯薄膜, 密封膜在工厂热合一次成型。图 5 为压膜沟大样, 图 6 为压膜沟照片。

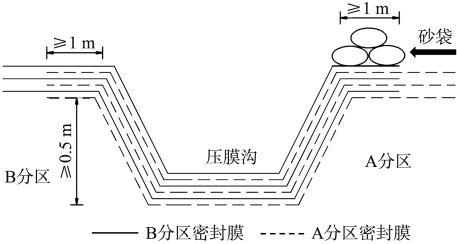


图 5 压膜沟大样



图 6 压膜沟

- 压膜沟处密封膜铺设工艺:
- 1) 先将 A 分区的第 1 层密封膜沿压膜沟沟底铺满并铺设至 B 分区内部不小于 1 m, 随后铺设 B 分区的第 1 层密封膜。
 - 2) B 分区的第 1 层密封膜应沿沟底铺满并铺设至 A 分区内部不小于 1 m, 使用强力胶将 A 分区内密封膜重合处紧密粘牢, 粘接时纵向应沿压膜沟长轴通长粘接, 横向粘接宽度不小于 1 m。
 - 3) 重复步骤 1) 和 2), 将 A 分区和 B 分区各自的 3 层密封膜铺设完成, 并按照要求将密封膜粘牢。
 - 4) 在 A 分区密封膜粘接处用砂袋压固。

3 工艺效果

3.1 膜下真空度

现场深层软基处理抽气 90 d, 真空预压抽气期间 33 个分区膜下真空度均在 85 kPa 以上, 说明所述工艺的密封性良好。

3.2 加固效果

停止抽气后对第 18 分区加固前后土体抗剪强度进行对比, 见图 7。可以看出, 土体抗剪强度显著增大, 最小增加近 20 kPa、最大增加约 30 kPa。

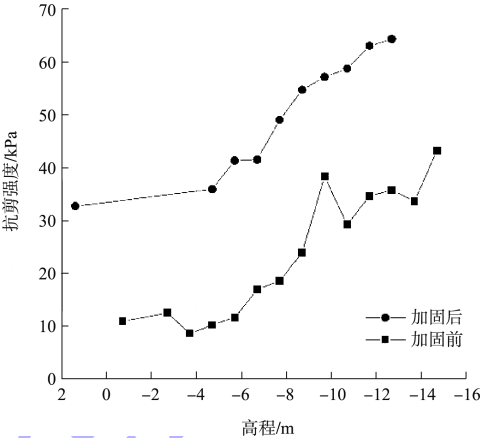


图 7 加固前后土体抗剪强度对比

图 8 给出了第 18 分区加固前后土体含水率对比情况, 排水板底端施工至高程 -14.18 m, 该高程以上即加固范围内的土体的含水率显著下降。

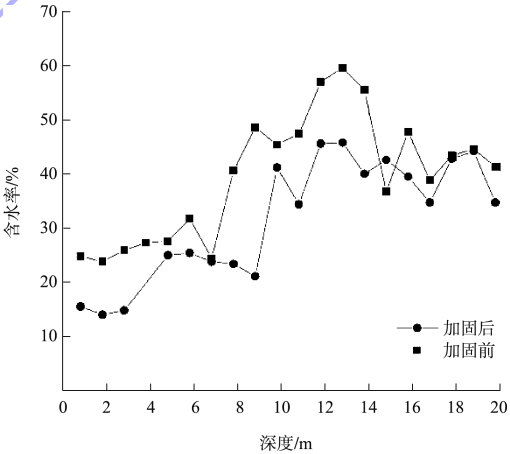


图 8 加固前后土体含水率对比

综上所述, 土体在加固后土质得到明显改善, 说明了密封工艺的可行性。

3.3 工程效益

本文提出的密封措施包含场区外边界密封墙与内部分区之间压膜沟两部分, 其中密封墙属传统工艺, 不再对其工程效益进行对比, 每延米压膜沟的工程效益对比见表 3。由表 3 可知, 本文工艺与传统工艺相比, 能显著减少压膜沟开挖工程量、缩短施工工期、减少施工费用。