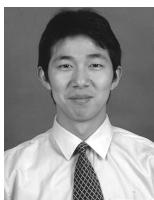


## · 地基与基础 ·



# 海堤侧吹填区真空联合堆载预压法加固技术

赵 健, 赵宪良

(中交天航南方交通建设有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 针对靠海堤侧吹填区淤泥面下方为抛石海堤的不规则斜坡面的情况: 1) 常规打设排水板进行真空联合堆载预压的工艺, 因通过海堤石料空隙与外海连通, 无法达到真空效果; 2) 直接由海堤侧堆载易造成泥面向内侧的滑移的问题。本文对压膜沟压膜工艺、堆载方法、临堤排水板设备进行了研究, 采用平移压膜沟、多点均匀堆载、设备的端部加设钢钎、浅层区域进行置换、持续优化方案等方法, 解决了此类条件下真空联合堆载预压真空度难维持、泥面易滑移的难题, 结果表明采取的方案安全可靠、便于施工, 为类似工程提供了参考。

**关键词:** 海堤侧吹填区; 真空预压; 加固

中图分类号: U 655

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0138-05

## Consolidation technology of vacuum preloading combined with surcharge preloading for seawall-side hydraulic reclamation area

ZHAO Jian, ZHAO Xian-liang

(CCCC TDC Southern Communication Construction Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** When the irregular slope surface of a riprap seawall lies below the sludge surface of a seawall-side hydraulic reclamation area, the following problems deserve further discussion: 1) The conventional process of vacuum preloading combined with surcharge preloading featuring drainage plate installation fails to achieve a vacuum effect due to connection with the open sea by the gaps among seawall stones. 2) Surcharge loading directly from the seawall side is highly likely to cause the sliding of the mud surface to the inside. This paper focuses on the film-pressing process of the film-pressing ditch, surcharge loading methods, and drainage plate equipment near the seawall. It solves the problems, namely, difficult maintenance of a vacuum effect and easy sliding of the mud surface, in vacuum preloading combined with surcharge preloading under the abovementioned conditions by translation of the film-pressing ditch, multi-point uniform surcharge loading, the addition of drilling steel at the end of the equipment, replacement in the shallow area, and continuous scheme optimization. The results show that the scheme adopted is safe, reliable, and convenient for construction, and it provides a reference for similar projects.

**Keywords:** seawall-side hydraulic reclamation area; vacuum preloading; consolidation

## 1 工程概述

### 1.1 工程概况

项目位于某区域海湾南部潮间带海滩上, 陆域范围由吹填形成。泥面高程约 3.6 m, 淤泥底高程为-31.0~10.1 m, 局部地势变化较大。

沿海堤内侧规划为道路基础, 设计采用真空联合堆载预压的方法, 纵向顺海堤长度 2 980 m, 设置 15 个加固区, 横向垂直海堤的宽度约 40~60 m, 加固面积 14.64 万 m<sup>2</sup>, 见图 1。

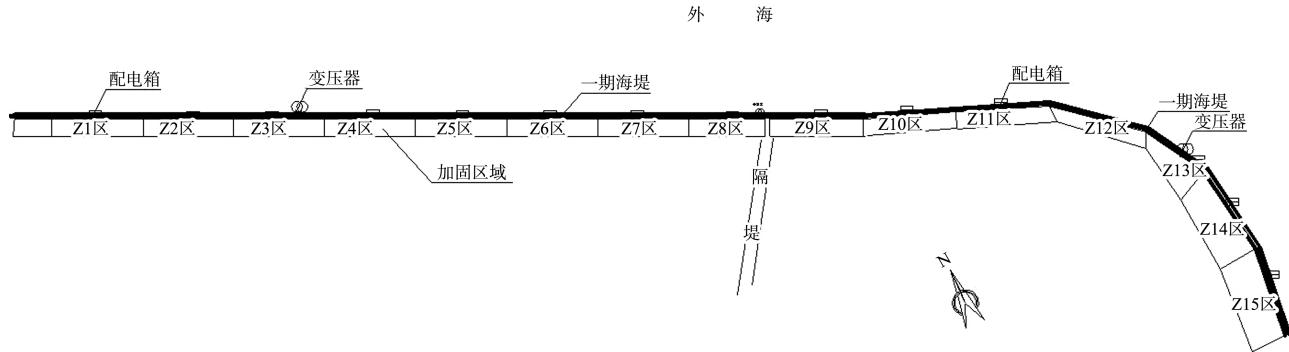


图 1 施工区域平面

## 1.2 结构形式

顺海堤内侧真空预压施工区域设计结构自下而上分别为: 编织布→竹排→砂垫层(50 cm)→打排水板、铺滤管→土工布、铺滤膜→(抽真空)→

粉细砂→堆载层。

当膜下真空度稳定到 80 kPa, 再持续抽真空 10 d 后开始分层铺筑石料加载, 之后进行外侧护面块体护坡和顶部现浇挡浪墙的施工, 见图 2。

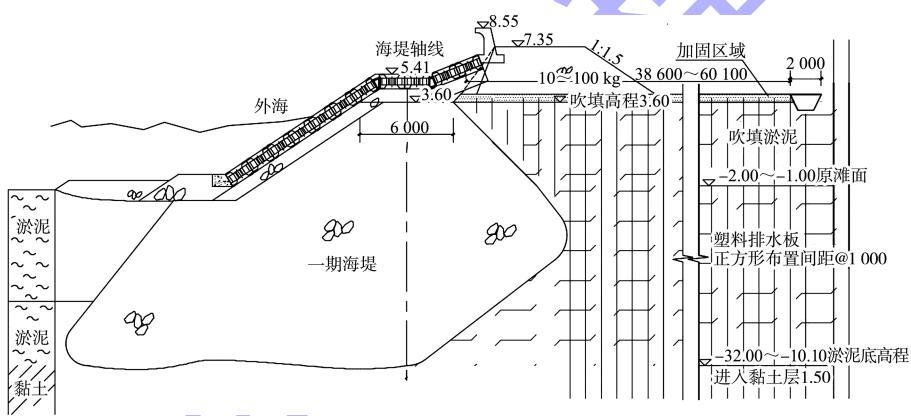


图 2 典型断面 (高程: m; 尺寸: mm)

## 2 工程特点

1) 为加快施工进度, 要求持续抽真空 10d 后开始分层铺筑石料加载, 易引起加固区不均匀沉降、隆起。

2) 真空预压区临围堰(海堤)侧与内侧的沉降不均匀, 临围堰(海堤)侧不像内侧可以便捷设置压膜沟满足密封要求。

3) 施工区域狭长, 不宜布置机械操作面, 但需保证施工期间道路不间断。直接由海底侧向内堆料, 泥面易产生滑移, 因此需精心组织。

4) 施工区域边缘在围堰(海堤)坡面上, 排水板打设的长度逐渐缩短, 若直接打设排水板, 易造成排水板尾部入围堰, 进而真空区泄气。

## 3 施工方案

### 3.1 施工流程

按照设计及施工工艺要求<sup>[1]</sup> 编制施工工艺流程, 见图 3。

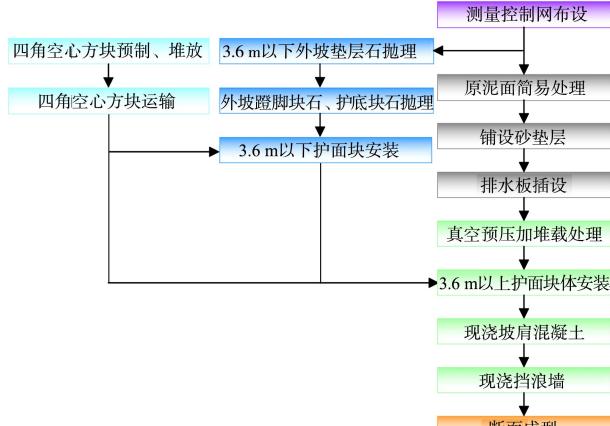


图 3 施工工艺流程

### 3.2 主要工序

1) 原泥面通过搭设浮桥(块体泡沫外包编织布)→铺设编织布→铺设竹排进行简易处理。

2) 铺设砂垫层厚度 50 cm, 采用中粗砂, 运输到现场→机械摊铺→人工整理成层。

3) 砂垫层铺设完成后, 进行排水板机械插设, 采用单元块法施工, 将施工区域划分为若干个小组的单元, 单元的划分采取便于点位的布置和机械作业, 且避免相互影响的原则。块与块之间埋设固定桩, 防止出现漏打或重打现象。

4) 铺设真空滤管、埋设检测仪器: 真空滤管采用  $\phi 76$  mm 塑料波纹管, 加工后可以将中粗砂透水层内的水汇集到管内。横向间距为 6.5~7.0 m, 纵向标准间距为 40 m。

5) 铺设聚乙烯(或聚氯乙烯)密封膜, 密封膜在工厂热合一次成型。在加工密封膜时, 其大小应考虑埋入黏土压膜沟部分, 并根据实际预留足够的不均匀沉降变形量, 防止密封膜拉裂。在加固区四周设置密封沟, 密封沟的深度为超过中粗砂垫层 50 cm, 为保证密封效果, 采用小型挖掘机开挖密封沟, 在铺设密封膜后, 用淤泥或黏土回填压实密封沟。

6) 真空预压排出的水在负压作用下通过排水板上升到中粗砂透水层, 汇聚到真空滤管, 由射流泵排出。

7) 试抽稳定后, 维持膜下真空度  $\leq 80$  kPa, 连续真空有效时间约 165 d, 在抽真空全过程中, 真空泵开泵率超过总数 80%。

8) 当膜下真空度稳定在 80 kPa 时, 抽真空 10 d 后开始分层铺筑石料加载, 堆载前先铺一层 200 g/m<sup>2</sup> 无纺布, 然后铺设 40 cm 的粉细砂作为保护层。

9) 真空预压区在满足真空度要求的前提下，应连续抽气，当沉降稳定后，停泵卸载，卸载标准按实测沉降曲线推算的固结度大于 85%，连续 10 d 实测沉降速率小于等于  $2.0 \text{ mm/d}^{[2]}$ 。

## 4 施工关键技术

## 4.1 压膜沟方案

依据原海堤施工图及现场的钎探, 将加固区域的临围堰(海堤)侧的边线向内侧平移2~3 m, 在平移后的位置开挖压膜沟、再进行覆膜施工, 压膜沟内压膜深度至沟底部超过砂垫层、并预留富余量, 见图4。

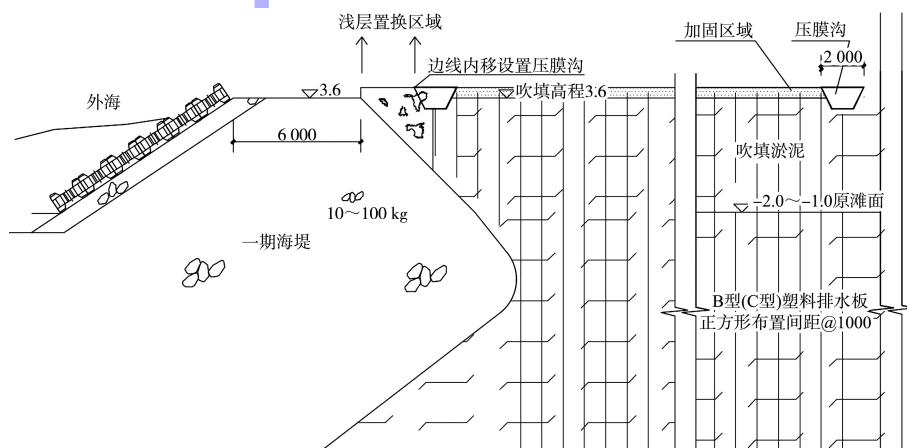


图 4 真空预压施工断面 (高程: m, 尺寸: mm)

## 4.2 推填方案

为减少占用围堰(海堤),施工前期在隔堤、Z15施工区端部设置材料集散场地,材料铺设、

排水板打设以上述位置为控制点向施工区域推进；临海堤侧没有或少设置上料点，且抽真空前对海堤边沿2.5 m 范围内进行浅层置换(挖出淤泥，换

填块石或抛石挤淤), 由临围堰(海堤)侧上料时, 减少并避免临海堤侧的淤泥因材料推进而向内产生滑移的现象, 跨越压膜沟位置均设置搭板, 见图 5。

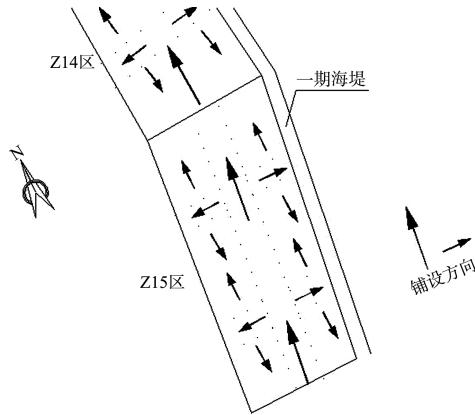


图 5 堆载施工布置

#### 4.3 排水板打设机构端部处理

结合现场勘探及试打情况, 标示海堤边坡范围, 在该范围内进行排水板施工<sup>[3]</sup>。机械设备的插管管端、人工插排水板用钢钎的端部均加焊  $\phi 25$  mm 钢筋、长 80 cm 的钎头, 防止排水板直接打入围堰体内, 见图 6。

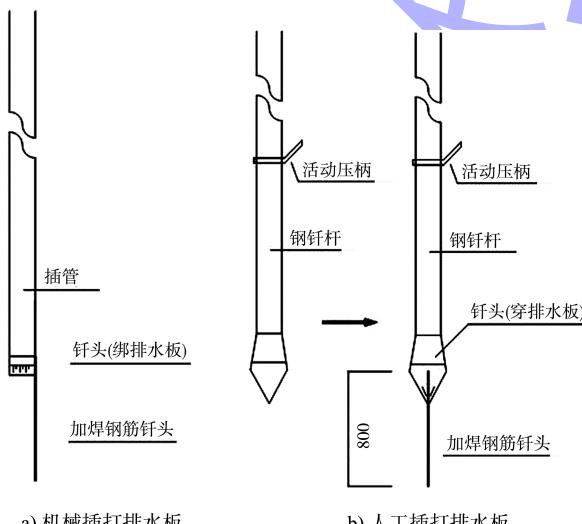


图 6 钎头设置

#### 5 方案持续优化

以保证真空效果为目的, 开展各环节的材料、

工序、安全施工审查。

1) 为确保插板机在排水砂垫层上行走, 建议在竹排上增加一层编织布, 确保机器移动平稳、排水板打设质量高(保证垂直度、间距、深度、减少回带)。

2) 将设计膜下中粗砂内埋设的真空滤管由  $\phi 76$  mm 改为  $\phi 50$  mm,  $\phi 50$  mm 真空滤管货源充足, 且环刚度较大  $\phi 50$  mm ( $14.6 \text{ kN/m}^2$ )  $> \phi 76$  mm ( $6 \text{ kN/m}^2$ ), 保证出水效果。

3) 要求抽真空后铺设粉细砂垫层作为真空膜的保护层, 以防止堆载石料时膜体被破坏。但是, 由于当地粉细砂资源紧缺, 选用了当地磷肥厂生产提炼后的无害尾矿粉替代, 其具有颗粒精细、无杂质、质地好的优点, 有效杜绝了因材料中夹杂杂质、尖凸、异物等情况对膜体的破坏, 且价格低廉, 可以变废为宝<sup>[4]</sup>。

#### 6 加固效果与分析

加固现场设置真空表、地表沉降、水平位移和孔隙水压力等观测项目。从各施工区域的膜面沉降过程线来看, 地表土沉降过程为快速增长—平稳增长—缓慢增长—停止增长。当施工停电或真空荷载卸载时, 加固后的地基可能产生少量回弹, 但回弹量较小, 地表变形在正常范围内, 综合来看, 各施工区域的沉降基本均匀, 地表竖向回弹量很小<sup>[5]</sup>。从各施工区域的孔压消散过程线来看: 自抽真空开始, 各深度的孔隙水压力均在较短时间内下降, 土中有效应力逐步增加。在施工过程中由于供电、压膜沟密封性、真空泵损坏、工序间歇等原因, 导致孔隙水压力有所回升, 孔压消散过程线出现波动, 土中附加有效应力随之减小。但在恢复正常抽真空后孔隙水压力又继续下降, 随着抽真空时间的增加, 孔隙水压力趋于平稳, 见图 7。

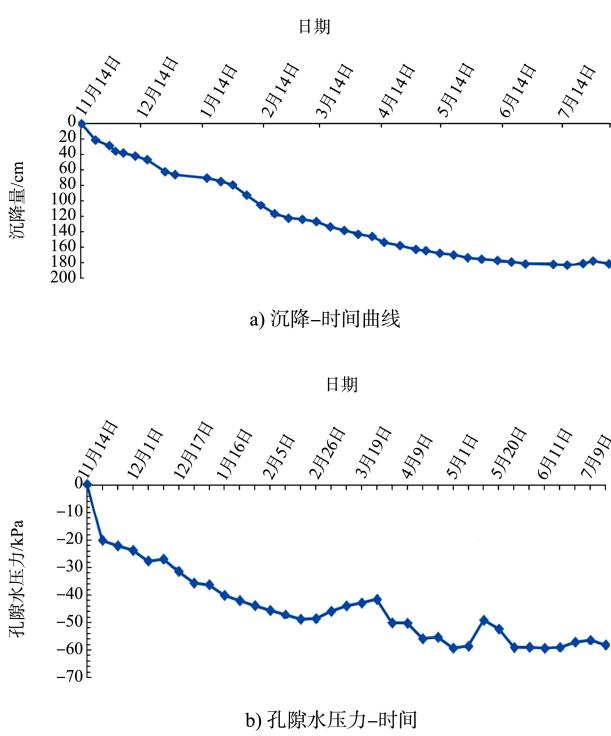


图 7 代表性区域检测数据曲线

施工后对加固区域进行钻孔取样、十字板剪切试验、静载试验。结果显示土体加固后的物理力学性质变化、土体强度增长、地基容许承载力均满足设计要求, 达到了预期的加固效果。根据钻孔取样数据分析, 各区检测点的物理指标沿深度方向显示出自上而下逐渐变化的趋势, 含水率逐渐减小、干密度逐渐增大、孔隙比逐渐减小、压缩系数逐渐减小。对比十字板剪切试验结果, 各区检测点显示出加固前后均具有自上而下逐渐增加的趋势, 各区地表以下不同深处的加固后土体抗剪强度均比加固前有大幅提高, 增长幅度均提高 100% 以上, 地表土体提高的幅度大于深处土体。根据现场静载试验, 各区检测点的地基容许承载力大于 80 kPa, 固结度大于 85%, 均符合设计要求。

## 7 结语

1) 通过加设钢钎头, 确保排水板不会打设入

围堰(海堤), 避免真空预压区域海堤以及加固区域海堤外侧相互连通的现象。

2) 通过设置浅层置换区, 采用密封沟向海堤内侧平移的方式, 使靠海堤侧的密封施工简便、易检查、易挖除不利障碍物(块石、短竹竿、钢筋头等), 未发生膜被刺穿、拉裂以及因压膜深度不足导致的漏气现象, 确保密封沟的实施效果。

3) 通过设置卸料区由中心向四周摊铺以及分层加载的方式, 使加固区加载平缓、均匀, 膜体受力匀称, 堆载分散、加固区受载匀称, 未发生滑移、隆起、膜破损的现象。

4) 根据实际情况进行材料和工艺改进, 解决了真空预压中宜出现的隐患, 确保了真空预压和堆载的顺利实施。施工中注意利用监测仪器, 及时收集过程数据, 通过归纳整理推测发展趋势, 结合针对性的措施确保工程良性发展。

5) 通过工程实践证明措施有效, 方法得当。在如何精细、合理、严谨、科学地组织施工方面起到了一定的借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 夏旭阳, 王业荣. 真空联合堆载预压在某高速公路工程施工中的应用[J]. 水运工程, 2003(8): 82-84, 78.
- [2] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 水运工程地基设计规范: JTS 147—2017[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2017.
- [3] 闫伟, 陈举, 余迪, 等. 塑料排水板插板机的改进及现场应用[J]. 港工技术, 2015, 52(3): 102-103.
- [4] 孙继德. 建设项目的价值工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [5] 董志良, 胡利文, 张功新. 真空及真空联合堆载预压法加固软基的机理与理论研究[J]. 水运工程, 2005(9): 83-91.

(本文编辑 赵娟)