

# 高真空击密法在造船基地软基处理中的应用

高 堂

(中船勘察设计研究院,上海 200063)

**【摘 要】** 现场实测数据和检测结果表明,高真空击密法是软基处理中比较好的方法,有重要的工程价值和推广意义。

**【关键词】** 强夯;真空降水;软土地基

**【中图分类号】** TU 471.8

## Application of Soft Soil Foundation Treatment With High Vacuum Densification Method in a Ship Yard

Gao Tang

(China Shipbuilding Industry Institute of Engineering Investigation & Design, Shanghai 200063)

**【Abstract】** The data and results of field tests show that the high vacuum densification method is good at soft soil foundation treatment and it has a momentous engineering value and spreading significance.

**【Key Words】** dynamic consolidation ;vacuum dewatering; soft soil foundation

### 0 引言

我国东部沿海沿江地区通过水力冲填泥砂形成的填土来围海(江)造地兴建厂区。

吹填土的含水量大,一般含水量大于液限,呈软塑或流塑状态,多属未完成自重固结的高压缩性的软土。在这种含水量高、压缩性大、渗透性差、强度低,且土层厚的软土上修建建筑物,将会遇到沉降量大且不均匀和地基稳定等问题。本文结合造船基地试验段的应用,对高真空击密法处理软土地基技术进行介绍和分析,以期对吹填土区域修建建筑物提供一些经验。

### 1 高真空击密法加固软基的原理

高真空击密法是一种快速加固软土地基的高新技术,它通过数遍的高真空,并结合数遍合适的变能量击密,达到降低土层的含水量,提高密实度、承载力,减少地基工后和差异沉降量的目的。其加固原理是:采用特制的高真空系统强制调整土体的含水量;在需处理土体分遍逐步接近最优含水量的同时,采用特制的大型击密设备分遍击密需处理的土体,逐步接近最大密实度;正确计算被处理土体超孔隙水压的消散时间及每遍击密的固结恢复时间;根据不同的土体渗透系数、含水量,分层多遍强制调整各层土的真空度、真空气量、平衡参数;根据地基的处理

深度要求,正确计算各层不同土体击密所需的击振能量。

### 2 工程应用及结果

#### 2.1 工程概况

该造船基地位于上海崇明县长兴岛新开港的下游以东约 3 km 岸线区域内,长江口深水航道南、北槽分流口的北侧。

长兴岛地基处理试验段位于原前卫港水闸处,原前卫港出口处,目前地面标高在 5.30 m 左右。该试验段为 2005 年 6 月吹填完成,土质较差。

本场地陆域属河口、砂岛、砂嘴地貌类型。

#### 2.2 场地地质条件

①<sub>1-1</sub>吹填土(粉砂):厚度为 2.90~3.50 m,平均厚度为 3.0 m 左右。

②<sub>1</sub>灰色粉质粘土:厚度为 0.50~1.40 m,平均厚度为 1.0 m 左右。

②<sub>3</sub>灰色砂质粉土:厚度大于 6.0 m。

试验段各层土的物理力学性质指标见表 1。

#### 2.3 试验段加固方案

为有效加固浅层土,形成较密实的硬壳持力层,以满足规范对工后沉降量的要求,同时要降低造价,确定采用高真空击密法。

表1 试验前各土层主要物理力学性质指标对比表

土层	含水量 $w/\%$	孔隙比 $e_0$	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$	渗透系数 $k/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	压缩系数 $\alpha_{0.1\sim 0.2}/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 $E_{s0.1\sim 0.2}/\text{MPa}$	粘聚力 $c/\text{kPa}$
① <sub>1-1</sub>	26.4	0.85			$3.47\times 10^{-3}$	0.24	8.39	3
② <sub>1</sub>	35.2	1.00	13.2	1.15	$5.41\times 10^{-6}$	0.54	3.82	14
② <sub>3</sub>	28.6	0.83	13.0	0.93	$4.51\times 10^{-4}$	0.26	7.69	9

### 2.3.1 高真空击密法地基处理方法及流程

一遍真空降水→一遍点夯→二遍真空降水,场地整平→二遍点夯→三遍真空降水,场地整平→满夯

### 2.3.2 施工情况及说明

#### 2.3.2.1 概述

本试验场区处理面积为  $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ , 施工日期为 2005 年 9 月 4 日至 9 月 23 日。主要施工设备为 30t 夯机、14t 夯锤、3 m 或 6 m  $\phi 32$  井点管、柴油机、真空吸水机、水准仪等。该区域采用三遍高真空降水三遍夯击法施工。

#### 2.3.2.2 施工进度

##### 1) 一遍高真空降水

采用 3 m 或 6 m  $\phi 32$  井点管布置, 井点管间距为  $3.5\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。在场地内布置两个观测孔观测地下水位, 以控制降水时间。一遍高真空降水于 2005 年 9 月 4 日开始, 当地下水位低于地面以下 2.5 m 时达到降深要求, 于 2005 年 9 月 12 日降水完成拔除井点管。

##### 2) 一遍夯击

一遍夯击共布置夯点 23 个, 夯点为  $5\text{ m}\times 5\text{ m}$  梅花形布置。夯锤落距 14.5 m, 夯击能为  $2\ 030\text{ kN}\cdot\text{m}$ , 每个夯点夯击数为 6 击。二遍夯击于 2005 年 9 月 13 日至 9 月 14 日施工。

##### 3) 二遍高真空降水

采用 3 m 或 6 m  $\phi 32$  井点管布置, 井点管间距为  $3.5\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。在场地内布置两个观测孔观测地下水位。二遍高真空降水于 2005 年 9 月 16 日开始, 当地下水位低于地面以下 2.5 m 时达到降深要求, 于 2005 年 9 月 18 日降水完成拔除井点管。

##### 4) 二遍夯击

场地二遍夯击共布置夯点 18 个, 夯点为  $5\text{ m}\times 5\text{ m}$  梅花形布置。夯锤落距 14.5 m, 夯击能为  $2\ 030\text{ kN}\cdot\text{m}$ , 每个夯点夯击数为 6 击。二遍夯击于 2005 年 9 月 19 日至 9 月 20 日施工。

##### 5) 三遍高真空降水

采用 3 m 或 6 m  $\phi 32$  井点管布置, 井点管间距为  $3.5\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。在场地内布置两个观测孔观测地下水位。二遍高真空降水于 2005 年 9 月 21 日开

始, 当地下水位低于地面以下 2.0 m 时达到降深要求, 于 2005 年 9 月 23 日降水完成拔除井点管。

##### 6) 三遍夯击

场地三遍夯击为满夯, 每个夯点之间搭接 30 cm。夯击施工时, 夯锤落距 7.5 m, 夯击能为  $1\ 050\text{ kN}\cdot\text{m}$ , 每个夯点夯击数为 2 击。三遍夯击于 2005 年 9 月 23 日至 9 月 25 日施工。

### 2.4 加固效果分析

#### 2.4.1 现场监测结果

从 2005 年 9 月 4 日—2005 年 9 月 23 日, 地面沉降-时间关系曲线见图 1, 试验区域累计沉降见表 2。同时根据第三遍夯击后的现场钻探取土和室内土工试验得出的土性指标进行估算, 高真空击密法处理后的地基沉降量估算为 65.0 cm, 施工期间沉降量为 56.6 cm, 占估算沉降量的 87.1%。由此可以看出, 经高真空击密法处理后, 地基土 87.1% 以上的沉降都在施工期间完成的。所以高真空击密法处理后的地基其固结过程完成的周期是相当短的, 可以满足规范规定的工后沉降要求。

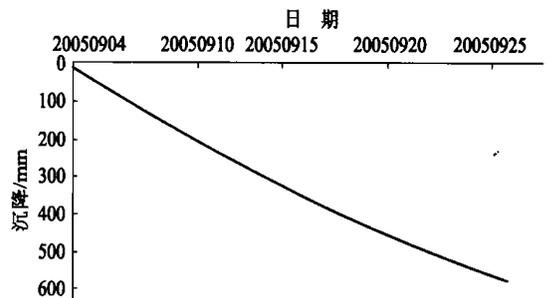


图1 地面沉降-时间曲线

表2 累计沉降表

序号	施工阶段	地面标高/m	沉降/m	
			本次	累计
1	加固前	5.437	0	0
2	一遍强夯	5.028	0.319	0.319
3	二遍强夯	4.884	0.144	0.463
4	三遍强夯	4.781	0.103	0.566

#### 2.4.2 加固后土性指标的改善

从处理前后土样的物理力学性质指标(见表3)

可知, 试验区 10 m 深度范围内土的指标都有所改善, 软土地基主要压缩层①<sub>1-1</sub>吹填土压缩模量平均值从处理前的 8.39 MPa 提高至 10.4 MPa, 提高了 25.3%, 软土地基主要压缩层②<sub>1</sub> 灰色粉质粘土压

缩模量平均值从处理前的 3.82 MPa 提高至 6.2 MPa, 提高了 62.3%, 软土地基主要压缩层②<sub>3</sub> 灰色砂质粉土压缩模量平均值从处理前的 7.69 MPa 提高至 10.7 MPa, 提高了 39.1%。

表 3 试验前后各土层主要物理力学性质指标对比表

土层	含水量 $w/\%$		孔隙比 $e_0$		$E_{s0.1\sim 0.2}/\text{MPa}$		粘聚力 $c/\text{kPa}$	
	试验前	试验后	试验前	试验后	试验前	试验后	试验前	试验后
① <sub>1-1</sub>	26.4	24.6	0.85	0.77	8.39	10.4	3	6
② <sub>1</sub>	35.2	30.2	1.00	0.87	3.82	6.2	14	17
② <sub>3</sub>	28.6	27.2	0.83	0.79	7.69	10.7	9	11

### 2.4.3 现场测试结果

1) 加固前后分别在现场进行了静载荷试验和静力触探试验。加固前承载力只有  $f_{ak}=50\text{ kPa}$ , 加固后增加到  $f_{ak}=150\text{ kPa}$ , 达到设计要求。

静力触探试验在处理前后同一点进行对比试验见图 2。由图可见, 在 0~6 m 土层深度内加固效果相当明显, 其中 3 m 以上吹填砂  $P_s$  值由平均 0.79 MPa 提高到 3.96 MPa, 3 m 以下至 6 m 粉质粘土和砂质粉土  $P_s$  值由平均 1.76 MPa 提高到 3.10 MPa。

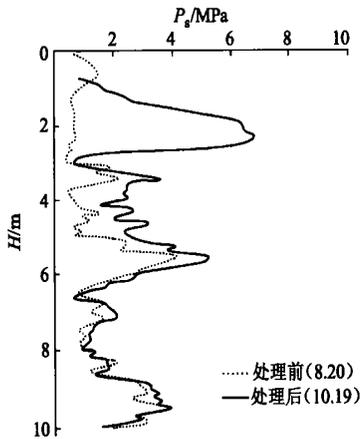


图 2 静力触探对比曲线

2) 图 3 为高真空击密法处理前后标贯击数对

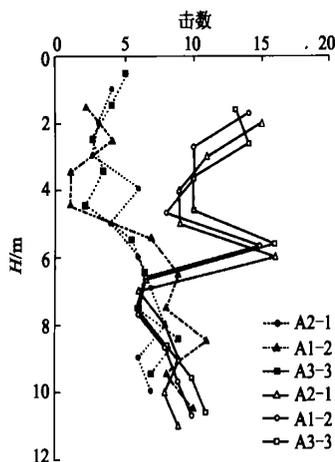


图 3 处理前后标贯对比图

比。从图中可以看出, 高真空击密法处理地基影响深度为 6 m 左右, 6 m 以上标贯击数明显提高, 6 m 以下则基本没有变化, 其中①<sub>1</sub> 层吹填砂由平均 3.5 击提高到 11 击, 最大达到 15 击, ②<sub>1</sub> 层粉质粘土由平均 3 击提高到 9 击, 最大达到 10 击, 6 m 以上②<sub>3</sub> 砂质粉土由平均 4.5 击提高到 11 击, 最大达到 16 击。

### 3 结论

1) 高真空击密法被证明是符合软土特性的有效的软土地基加固方法, 本试验所用施工参数基本合理, 未造成地基的结构破坏, 同时大大加速了土体固结过程, 使有效加固深度范围内土体的压缩性明显改善, 土体的强度有一定增长。

2) 高真空击密法工艺处理后地基土各项指标提高幅度明显, 地基土承载力特征值可达 150 kPa, 回弹模量大于 40 MPa, 影响深度可达 6 m。

3) 从工期上看, 采用该法, 可使浅层土迅速固结、压密, 提高了土体强度, 单位面积施工工期为 10~25 d, 加快了施工工期。

4) 高真空击密法对于吹填土区域地基加固: 时间短、简捷、费用低、效果明显, 具有很好的应用前景和经济效益。

致谢: 参加本软基处理试验段研究的人员还有张育峰、黄雪林、董天林、宋友仁、秦江、张金才、朱中卫等, 对他们的辛勤工作表示衷心的感谢!

### 参 考 文 献

[1] 常士骠主编. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.

收稿日期: 2006-05-08