

某港口工程真空降水强夯法地基处理设计试验研究

张文龙, 水伟厚, 何立军

(上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司, 上海 200011)

摘要: 针对某港口工程的地基处理设计问题, 结合该地基处理工程试验性施工, 对真空降水强夯法处理软黏土地基的适用性及加固效果进行了试验研究, 分析了该工法的特点及加固机理, 并对其设计关键参数及加固效果进行了深入探讨。试验表明, 真空降水强夯法地基处理设计必须采用正确的设计参数及施工工艺, 否则易出现“橡皮土”的问题。本文研究为类似工程真空降水强夯法地基处理工程设计提供了参考。

关键词: 真空降水强夯法; 设计; 试验研究

作者简介: 张文龙(1982—), 男, 河南周口人, 上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司工程师, 从事岩土工程设计工作。

0 引言

强夯(动力固结)法具有经济易行、造价低廉、施工工期短、加固效果显著、适用土类广等众多优点, 在世界各地的地基处理工程中得到了广泛应用^[1, 2], 目前已被广泛应用于碎石土、砂土、黄土、填土和非饱和黏性土等地基加固中^[3]。近年来, 在理论和试验研究的基础上, 通过改进传统的强夯施工工艺、增设竖向排水体或与其他加固方法相结合, 强夯技术已开始拓展应用到饱和黏土地基中^[4~6], 但是, 对于地下水位较高的饱和和软黏土地基, 应用强夯法处理地基时常常出现以下问题:

(1) 场地地下水位过高, 易造成地表严重液化、夯坑积水等问题, 影响加固质量和安全生产。

(2) 对于黏性土或夹淤质层砂土, 由于强夯扰动破坏了土体结构, 导致土体渗透性降低, 超静孔隙水压力难以消散, 会出现“橡皮土”现象, 难以实现真正的土体加固。因此为了充分利用强夯技术的优点, 提高强夯在饱和软黏土中的加固效果, 真空降水强夯法作为这种背景下的地基处理新工法被研究开发出来, 该法能充分发挥强夯和井点降水的技术优势, 利用井点降水来加速强夯产生的超静孔压消散和孔隙水排出, 从而可以迅速提高软土的固结率, 有效避免强夯过程中出现“橡皮

土”现象。本文结合江苏某港口工程软基地基处理工程, 对软黏土中真空降水强夯法的设计以及相应的工艺技术参数进行了现场试验研究。

1 真空降水强夯法加固机理及特点

1.1 真空降水强夯法加固机理

软黏土由于孔隙比大、含水量高、渗透性差、强度低, 在强夯动力作用下, 要求瞬时内从土体孔隙中排出大量水, 但由于时间短、渗透性差, 水来不及排出, 从而导致土中孔隙水压增高, 且短时间内难以消散, 因而土体抗剪强度大大降低, 在这种情况下继续夯击, 必然会出现橡皮土, 孔隙水压力居高不下是出现橡皮土的直接原因。

真空降水强夯法是一种快速加固软土地基的新技术, 是在动力固结理论与真空降水技术相结合的基础上提出来的, 该法采用特制的真空降水系统等主动强排水方式来加速夯击前后及夯击过程中超静孔隙水压力的消散和孔隙水的排出, 并结合饱和软黏土的动力特性和强度增长规律改进了传统强夯法的施工工艺及技术参数, 通过严格控制每遍的夯击能, 以不完全破坏土体结构强度为前提, 根据土体强度恢复和提高情况, 逐步提高能量来渐进提高土体的加固效果和深度。简言之它是通过数遍变强度高真空强排水, 并结合适当能量的强夯击密, 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效果。

1.2 真空降水强夯法主要优点

(1) 通过夯前降水,打破了规范^[7]中强夯应保证地下水位低于夯坑底 2 m 的规定,扩大了强夯的应用范围。

(2) 通过井点降水,解决了饱和软黏性土中土体渗透性差的问题,使夯击引起的超静孔隙水压力能够及时消散,避免“橡皮土”的出现。

(3) 与传统动力排水固结法相比,该工法通过真空井点降水这一主动排水方式,使超静孔隙水压力消散更快,从而显著节省投资。

(4) 处理后的场地浅部较松散土层的承载力和各类暗浜、沟塘造成的土基不均匀性问题得到了解决,使地表一定深度范围内土层的强度得到有效提高,形成一定厚度的硬壳层,增强整体变形协调性,并能有效消除负摩阻力和砂土液化,满足后续设计对地基强度和变形的要求。

2 工程概况

2.1 概述

拟建的某港口工程场地位于长江三角洲前缘,其地貌属于冲积平原类型,该工程建成后将作为物流仓储基地,荷载比较大,对地基沉降十分敏感。因此需要对场地进行地基加固,提高地基承载力,控制场地的不均匀沉降和沉降速率,以保证工程的安全及正常运行。

2.2 场地条件

根据勘察报告,建筑场地分布有素填土、淤泥、粉质黏土、淤泥质粉质黏土等 6 层和分属不同层次的亚层,场地土自上而下依次为:

第①₁层,素填土,层厚 0.40~1.50 m。场地内均有分布。

第①₂层,淤泥,仅分布于暗浜、暗塘底部。

第②₁层,粉质黏土,褐黄色,层厚 0.70~1.30 m,该层土质均匀,在暗浜、暗塘分布区该土层缺失。

第②₂层,粉质黏土,灰黄色,层厚 0.80~1.40 m,该层土质不均匀,在暗浜、暗塘分布区该土层缺失或者厚度变薄。

第③₁层,淤泥质粉质黏土,层厚 6.20~8.00 m,该层土质不均匀,场地内均有分布。

第③₂层,粉土,灰色,层厚 0.60~1.60 m,该层土质不均匀,场地内均有分布。

第④层,淤泥质黏土,灰色,层厚 6.00~9.10 m,该层土质不均匀,场地内均有分布。

第⑤₁层,粉质黏土,灰色,层厚 3.20~5.60 m,该层土质不均匀,场地内均有分布。

第⑤₃₋₁层,粉质黏土,灰色,层厚 4.20~6.50 m,该层土质不均匀,场地内均有分布。

第⑤₃₋₂层,黏土,灰色,层厚 5.30~7.50 m,该层土质不均匀,场地内均有分布。

第⑦层,粉砂,灰色,土质较均匀,含云母屑。该层土质均匀,场地内均有分布。

2.3 场地原地基处理设计方案

该工程场地占地面积约 13.7 万 m²,根据工艺平面布置,主要由仓库边堆载基地、集装箱堆场、件杂货堆场(远期改造成集装箱堆场)、轮胎吊调车道、道路及相关构筑物等工程内容组成。地基加固范围分为 A、B、C 三区,其中 A 区为堆场、调车道、道路区;B 区为全部道路区;C 区为仓库区域。具体加固方案 A 区和 C 区采用真空降水强夯法处理,B 区采用掺灰土后振动碾压处理。真空降水强夯法地基处理设计具体参数如下:强夯工艺采用两遍夯,夯能为 1 500 kN·m,夯点点距 3 m,正方形布置,每遍夯点夯击数 10 击,强夯后再普夯一遍,搭接夯,搭接宽度为 1/3 锤径,夯能 1 000 kN·m,每点夯 3 击。

强夯施工时应进行有效的人工降水,具体为插设塑料排水板后,采用真空井点管强排水,三遍降水,两边强夯,一遍普夯。第一遍降水采用 3 m 浅管降水,井点管间距为 2 m,卧管间距为 3 m,水位降至地面 2.5 m 以下,然后进行第一遍强夯;第二遍降水采用 3 m 短管、6 m 长管相间布置方式,井点管间距为 4 m,卧管间距为 4 m,要求水位降至地面 3 m 以下,完毕后进行第二遍强夯;第三遍降水要求同第二遍,降水结束后,立即普夯一遍。

塑料排水板采用正方形布置,间距 1.2 m,插打深度为 5 m。

2.4 地基处理设计方案分析

由于本项目的工程地质条件复杂,承载力和场地均匀性要求高,沉降敏感,故地基处理方案选择合理与否,将关系到后期整个工程的造价、质量和进度。

根据本工程的详细地质情况,并结合该港口

类似工程的地基处理设计情况,本地基处理设计方案思路可行,但部分参数存在问题,针对性和可操作性需进一步完善,主要问题具体如下:

(1) 由于本场地硬壳层比较薄,刚开始采用较高的能级很容易将硬壳层击穿,对下面土体将造成很大的扰动,扰动后土体强度很难恢复,因此强夯能级宜先轻后重,并且击数 10 击偏高,孔压来不及消散,容易形成橡皮土。夯点间距 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$

偏小,将会影响加固深度,建议调整为 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。

(2) 真空管 3 m 偏短,对本场地渗透性小的表层土效果不明显,很难达到设计所要求的降水标准。根据本场地夯前静力触探(图 1)表明,本场地在 6~7 m 的位置存在着一层夹砂层,渗透系数比较大,因此建议换成 6 m 真空管,降水水位宜要求降到地面下 4 m 左右。

夯前静力触探测试成果图表

工程编号: 2007-S-7-1

编号:

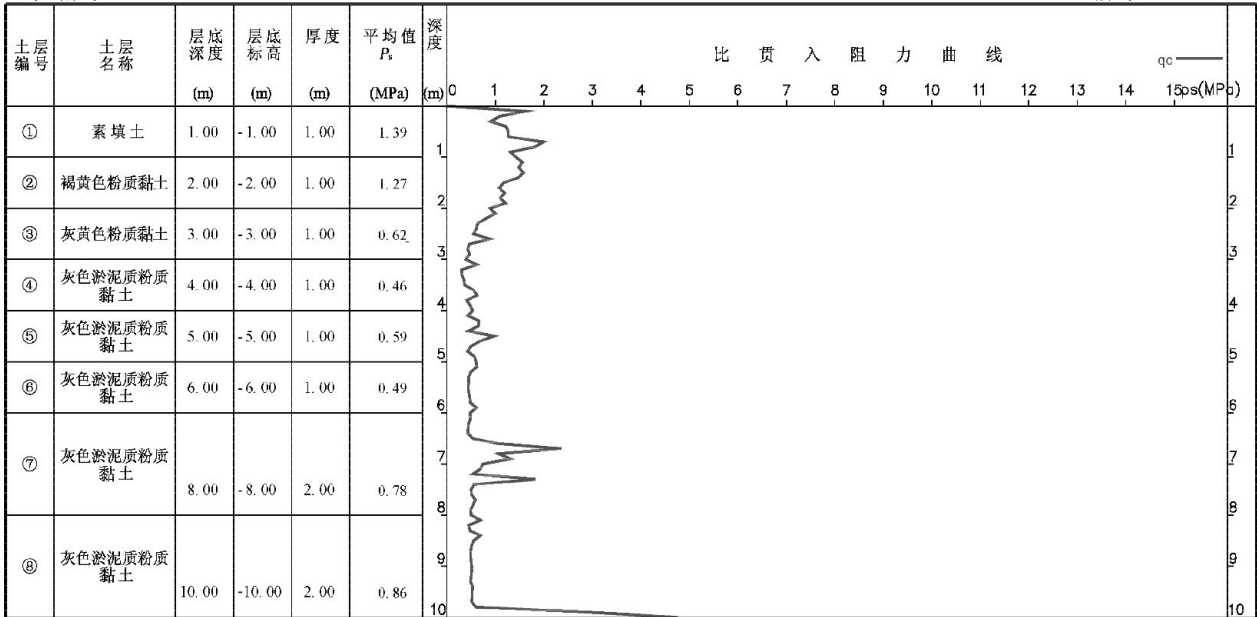


图 1 夯前静力触探曲线图

(3) 插塑料排水板的长度为 4~5 m,可能和真空管会产生联通和透气,对提高真空度有不利影响,施工单位应采取措施确保井点孔的密封效果,如插板后先做一遍普夯等。

(4) 掺灰土振动碾压区域(道路部分)面积比较小,单独处理以后可能会出现不均匀沉降,建议采用真空降水强夯法统一处理。

3 现场试验

为了保证工程质量,并为后续大面积施工提供合理的施工参数。现场试验分为 A 区、B 区两个小区进行,不同小区采用不同的施工参数,本次试验夯击参数的设计遵循“由轻到重,少击多遍”的原则。各个试验小区的平面尺寸和具体施工参数见表 1。

表 1 各试验小区夯击施工参数汇总表

夯区编号	夯区面积 (m ²)	夯点布置(梅花形)(m ²)			夯击次数(击)			单击夯能 (kN·m)		
		一遍	二遍	三遍	一遍	二遍	三遍	一遍	二遍	三遍
A	4 000	3×3	3×3	满夯	3	3	1	1 500	1 500	1 000
B	4 000	4×4	4×4	满夯	3	3	1	1 200	1 500	1 200

其中 A、B 试验区均插设塑料排水板,间距 1.2 m,插打深度为 5 m。为防止塑料排水板与真空管连通漏气,B 区在插管降水前场地进行预夯一遍。A 区采用 3 m 真空管降水,B 区采用 6 m 真空管降水,以对比各种管长度的降水效果。

依据设计方案,A 试验小区刚开始每遍夯击数为 10 击,发现第 6 击时夯坑深度已经达到将近 1 m,夯坑周围已经明显隆起,说明硬壳层已经打穿,根据图 2 夯击数与夯沉量的关系,将每遍点夯击数调整为 3 击。

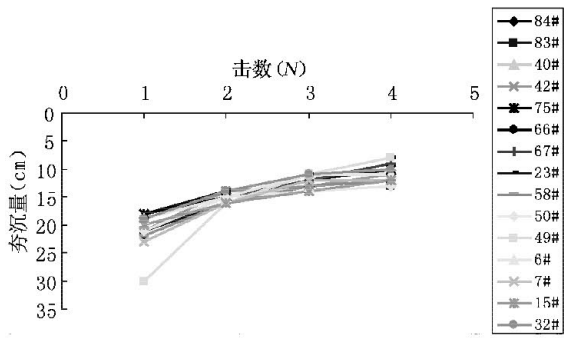


图2 A 试验小区强夯击数与地面夯沉量关系图

4 试验结果分析

现场试验过程中, A 区由于井点管过短, 周围土渗透系数很小, 井点管很难到达密封效果, 并且没有进行场地预夯, 现场降水效率低下(10 天左右水位才能降到 2.5 m), B 区降水效果比较好, 4 d 左右水位能够降到 4 m 以下。

为了验证本场地真空降水强夯法地基处理的设计参数和对比分析不同设计参数对其加固效果的影响, 为后续大面积施工确定合理的施工工艺和参数, 强夯施工前后分别对两个试验小区进行

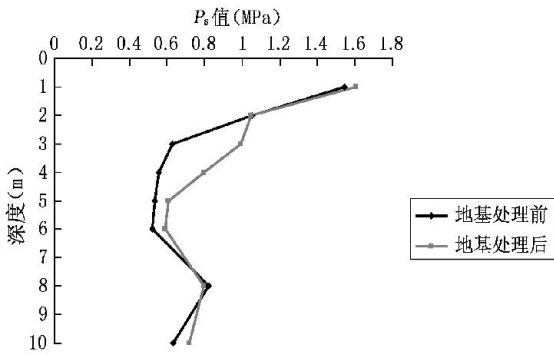


图3 A 试验小区强夯前后静力触探曲线图

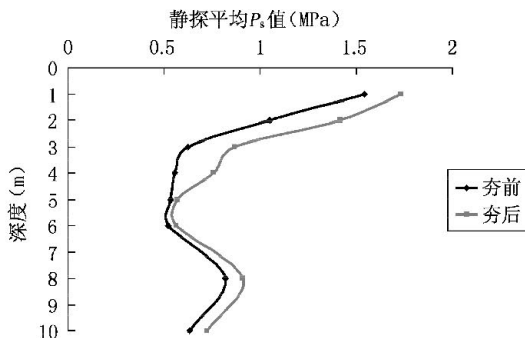


图4 B 试验小区强夯前后静力触探曲线图

了静力触探试验, 结果的对比曲线分别见图3、图4。

静载试验总共做了三点, 原定全部采用 0.707 m × 0.707 m 板。其中 A 试验小区由于降水效果不明显, 表层土一定范围内地基处理效果比较差, 采用 0.707 m × 0.707 m 板试验结果如图5所示, 影响深度有限, 作出的承载力不能反映场地的真实情况, 所以 A 试验小区第二个点采用 1.5 m × 1.5 m 板, 试验结果如图6所示; B 试验小区一点,

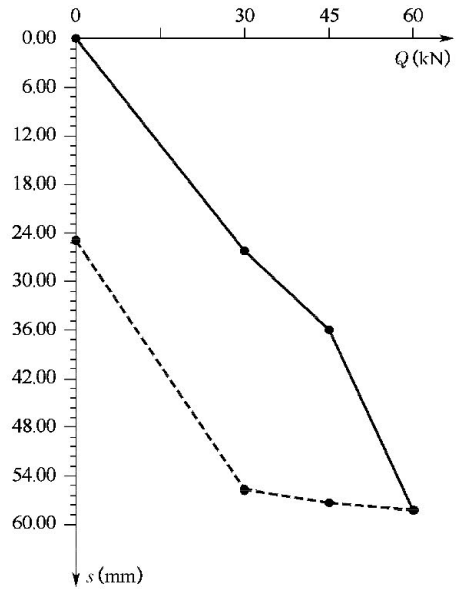


图5 A 试验小区夯后平板载荷试验曲线图(0.707 m × 0.707 m 板)

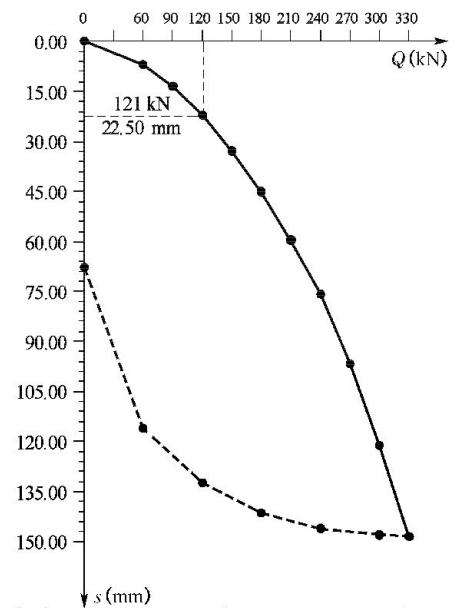


图6 A 试验小区夯后平板载荷试验曲线图(1.5 m × 1.5 m 板)

同样采用 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 板, 试验结果如图 7 所示。

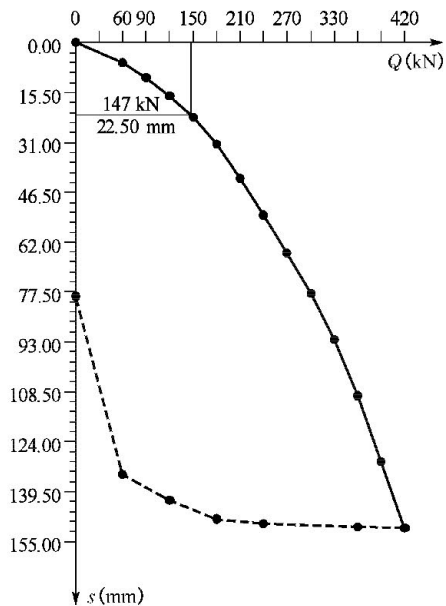


图 7 B 试验小区夯后平板载荷试验曲线图 ($1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 板)

5 结 语

根据某港口工程进行的真空降水强夯法现场试验结果, 对港口工程中真空降水强夯法的地基处理设计进行了研究, 得出以下初步结论:

(1) 饱和软黏土中进行真空降水强夯法地基处理设计, 关键问题是排水系统的设计, 本工程中同一片场地 A、B 两个不同的试验区采用不同的降水参数, 降水效果差别很大, 对地基处理效果的影响也非常大, 因此在设计降水系统前应对降水区域进行小螺钻地质钻探, 尽量获取比较准确的

地层变化资料以便及时调整降水参数, 提高降水效率。

(2) 真空降水强夯法地基处理设计中夯能的选择与地基处理的影响范围密切相关。夯点间距与夯击次数对其加固效果影响很大, 应采用适应软黏土地基的“先轻后重、逐级加能、少击多遍、逐层加固”的夯击方式, 以不破坏土体宏观结构为原则的收锤标准, 形成能够有效抑制孔压上升, 加速孔压消散的施工工艺, 增强强夯效果。

由以上测试结果可知, 同一个场地由于采用不同的设计参数进行施工, 无论是浅层承载力还是深层的加固效果均差别很大。因此, 在真空降水强夯法地基处理设计中, 降水方案以及夯能、夯击参数的设计非常重要, 降水效果的好坏直接影响到地基处理的效果。

参 考 文 献

- [1] 地基处理手册编委会. 地基处理手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [2] 王铁宏. 新编全国重大工程项目地基处理工程实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [3] Mitchell J K. Soil improvement state of the art report [C]. The 10th ICSMFE Proceedings. Stockholm: Balkem A A, 1981: 509~565.
- [4] 郑颖人, 陆新, 李学志, 等. 强夯加固软黏土地基的理论与工艺研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 18~22.
- [5] Merrifield C M, Davies M C R. A study of low-energy dynamic compaction: field trails and centrifuge modelling[J]. Getechnique, 2000, 50(6): 675~681.
- [6] 丘建金, 张旷威. 动力排水固结法在软基加固工程中的应用[J]. 工程勘察, 1995(6): 7~10.