

文章编号: 1674-1730(2015)01-0064-04

高能级强夯加固大厚度湿陷性黄土场地的研究

闫铁成, 张兴元

(陇东学院 土木工程学院, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 通过对某湿陷性黄土地基工程中 15000kN·m 能级强夯地基加固处理试验结果的分析, 探讨在大厚度湿陷性黄土中高能级强夯的加固效果。研究表明: (1) 在湿陷性黄土地区, 采用高能级强夯法处理湿陷性黄土, 可完全消除黄土的湿陷性, 达到地基处理的预期目标。(2) 采用的高能级强夯设计及施工技术参数进行湿陷性黄土地基处理取得了良好效果, 在类似工程场地, 具有较好的实际参考价值。

关键词: 大厚度; 湿陷性黄土; 高能级强夯; 研究

中图分类号: TU473 文献标识码: A

A Study of High Energy Level Dynamic Compaction in Fields of Collapsible Loess with Large Thickness

YAN Tie-cheng ZHANG Xing-yuan

(College of Civil Engineering Longdong University Qingyang 745000, Gansu)

Abstract: This study aims at finding out the effect of the high energy level dynamic compaction by analyzing the data of the ground stabilization of 15000kN·m Level Dynamic Compaction in a field. The results show that: (1) high energy level dynamic compaction completely prevents loess from collapsing and helps to meet the needs of ground treatment; (2) the design and the related technical parameters of the compaction get expected results not only in collapsible loess foundation treatment but also in similar project sites; the design is of good practical value.

Key words: large thickness; collapsible loess; high energy level dynamic compaction; study

强夯法由法国梅拉公司于 1969 年首先创立, 近年来, 一些学者对强夯法加固不同的地基土进行了研究。费香泽等^[1]进行了黄土强夯的模型试验研究。谢能刚等^[2]研究了强夯动接触力的碰撞分析与并行优化求解问题。年廷凯等^[3]针对不同土质条件下高能级强夯加固效果进行了测试与对比分析。贾敏才等^[4]通过可视室内强夯模型试验仪, 得到不同夯击次数下砂土位移等值线图和动接触应力时程曲线等宏观力学响应。张兴元等^[5]根据自行设计的室内模型试验装置, 对 3000、8000 和 10000 kN·m 能级强夯开展了室内模型试验研究。熊巨华等^[6]采用半圆模型夯锤, 对强夯加固粉土地基进行室内模型试验, 并对夯击时土体内部的动应力进行了研究。何长明等^[7]进行了强夯动应力的量测及现场试验研究。罗恒等^[8]进行了红砂岩碎石土高填方路基强夯

加固时的动应力扩散及土体变形试验研究。张清峰等^[9-11]通过室内模型试验, 进行了强夯法加固煤矸石地基的动应力、破碎密实机制等问题的研究。石亮等^[12-13]设计了一种便捷强夯模型试验装置及并应用此装置进行了砂土地基地面变形规律的模型试验研究。冯世进等^[14]进行了强夯参数对夯击效果影响的室内模型试验。以上这些主要是通过室内试验对强夯进行研究, 本文则是通过现场试验对高能级强夯进行研究。

高能级强夯一般是指单击夯击能大于 6000kN·m 的强夯^[15]。采用高能级强夯加固大厚度湿陷性黄土地基, 对于提高地基的强度和均匀性、降低压缩性、消除湿陷性、提高承载力具有明显的效果。由于其简单经济、施工设备简单、施工周期相对较短等突出优点^[16]而被广泛应用。

收稿日期: 2014-05-11

作者简介: 闫铁成(1982—), 男, 黑龙江佳木斯人, 讲师, 硕士, 主要从事工程管理和工程施工研究。

1 高能级强夯施工的几个主要参数

1.1 有效加固深度

有效加固深度,根据不同的处理目的有不同的判别标准。对于湿陷性黄土,一般以夯后地基土的湿陷系数 $\delta_s \leq 0.015$ 为标准来确定有效加固深度。

1.2 施工参数

1.2.1 夯击次数

高能级强夯的夯击次数由试夯夯沉量曲线确定,施工中采用最后两击平均夯沉量控制。

1.2.2 夯击点布置及间距

强夯的夯点布置一般采用等边三角形、等腰三角形或正方形布置;夯点间距一般根据地基土的性质和要求处理的深度由现场试验确定。

1.2.3 间歇时间

强夯的间歇时间为加固地基土中孔隙水压力消散所需要的时间。

对于大厚度湿陷性黄土地基,合理确定施工参数,可以有效地消除其湿陷性^[17],减小其孔隙比,提高地基承载力,使高能级强夯的处理效果得到最大限度的发挥。

2 工程实例

2.1 工程概况

拟建场地位于某黄土塬上,场地内黄土深度至少在50m以上。具体分布如下:①粉质粘土,深褐色,土质不均,强度较低,塑性指数9.10~10.89之间;②粉质粘土,黄色,结构不均,强度较低,硬塑状态,比较疏松,粒径10~17cm;③粉质粘土,黄~深黄色,土质不均,含粘粒较高,干强度较低;④粉质粘土,褐红色,土质比较均匀,干强度中等,呈可塑~坚硬状态,较上下部土层粘粒含量高,底部含有姜石,最大粒径15cm;⑤粉质粘土,褐黄色,风积而成,干强度低,光泽及韧性差,无摇振反应,呈硬塑~坚硬状态,含针孔、虫孔等大孔隙,可见白色钙质假菌丝,土质均匀,顶部含有姜石,最大粒径15cm;⑥粉质粘土,浅褐红色,土质均匀,风积而成,干强度中等,光泽及韧性中等,无摇振反应,可塑~坚硬状态,含针孔、根孔、少量虫孔等大孔隙,可见白色钙质假菌丝,较上下部土层粘粒含量高,底部含有姜石;⑦粉质粘土,褐黄色,土质均匀,风积而成,干强度较低,光泽及韧性差,无摇振反应,呈硬塑~坚硬状态,含针孔,偶见根孔、虫孔等大孔隙,顶部含有姜石,最大粒径15cm,偶见白色钙质假菌丝。20m以上的黄土层具有明显湿陷性,20m以下的黄土层基本不具有湿陷性。

2.2 强夯施工工艺

15000kN·m能级强夯第一遍、第二遍主夯点间距为9.0m,停锤标准为最后两击平均夯沉量不大于



图1 15000kN·m能级强夯设备图



图2 强夯夯坑图



图3 现场静力触探试验图

20cm,第三遍采用8000kN·m能级加固夯,停锤标准为最后两击平均夯沉量不大于15cm,满夯能级为2000kN·m。强夯夯点布置见图4。

2.3 试验结果分析

2.3.1 夯沉量检测结果

15000kN·m试夯A16B37夯点的夯沉量与夯击数关系曲线见图5。从图5中可以看出:夯沉量是第一击最大,而后随着夯击数的增加而减小,到16击后趋于一定值,曲线拐点明显。因此可以看出,15000kN·m能级下强夯的最佳夯击数为16击。

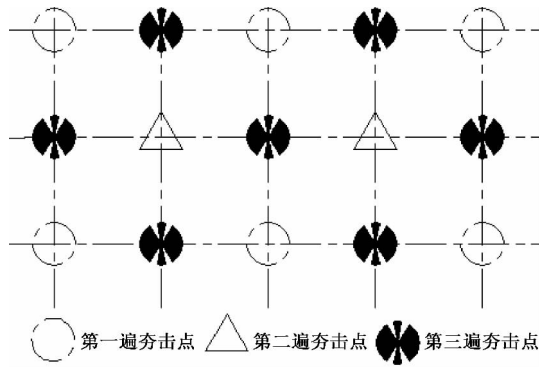


图 4 15000kN·m 强夯夯点布置图

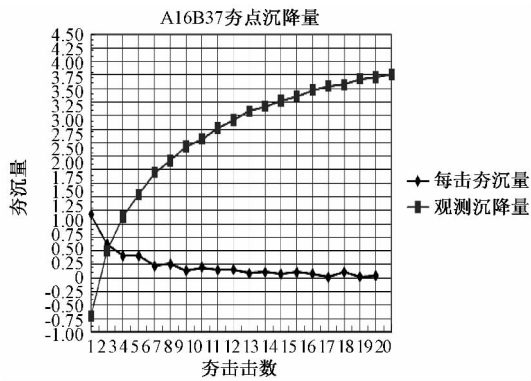


图 5 A16B37 夯点的夯沉量与夯击击数关系曲线

2.3.2 地基土湿陷性试验结果分析

15000kN·m 能级强夯夯前和夯后湿陷性系数与深度变化的关系曲线见图 6。

从图 6 中可以看出: 经过 15000kN·m 能级强夯处理后, 地基土的湿陷性消除非常明显, 12m 以内, 夯后地基土的湿陷性系数随着深度增加明显小于夯前地基土的湿陷性系数且小于等于 0.015。

由此可以看出: 经过 15000kN·m 能级处理后, 地基土的有效处理深度为 12m, 并且在有效处理深度范围内, 黄土的湿陷性消除基本消除, 能满足工程设计的需求。

2.3.3 干密度试验检测结果

15000kN·m 能级强夯夯前与夯后干密度与深度变化的关系曲线分别见图 7。从图 7 中可以看出: 经过 15000kN·m 能级强夯处理后, 地基土的干密度随着深度增加明显增大, 但变化的幅度随着深度增大而减小。

2.3.4 孔隙比试验结果分析

15000kN·m 能级强夯夯前和夯后孔隙比与深度变化的关系曲线见图 8。从图 8 中可以看出: 12m 以内, 夯前地基土的孔隙比较大, 经过 15000kN·m 能级强夯处理后, 地基土的孔隙比显著减小, 到 12m 以下变化不再明显。4m 以内夯后 4 天地基土的孔隙比大于夯后 7 天的孔隙比, 这说明孔隙水压力对

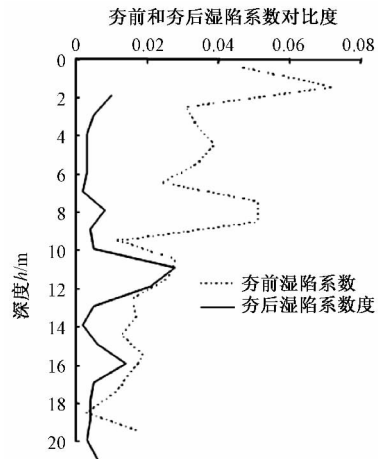


图 6 湿陷系数随深度变化曲线图

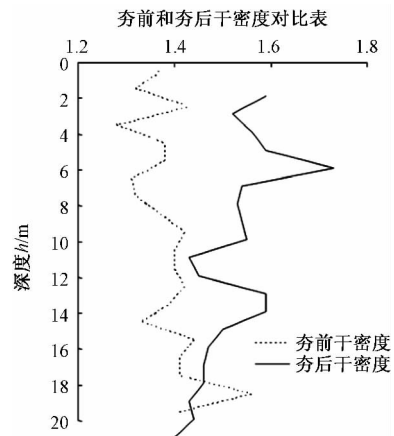


图 7 干密度随深度变化曲线图

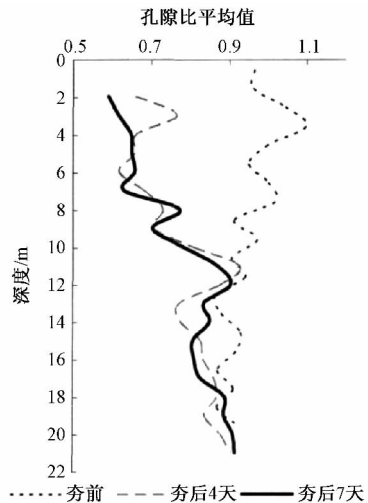


图 8 孔隙比随深度变化曲线图

浅层的地基土影响较大。

2.3.5 载荷试验检测结果

15000kN·m 能级强夯在试验区满夯后共进行了 4 组平板载荷试验, 分夯点间、夯点上进行, 其载荷试验曲线见图 9, 其中编号为 Z1 的曲线是布置在一遍夯点上的试验结果; 编号为 Z2 和 Z3 的曲线是

布置在强夯夯点之间的试验结果; 编号为 Z4 的曲线是布置在三遍夯点上的试验结果。

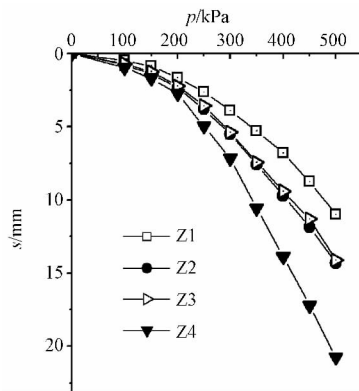


图9 平板载荷试验关系曲线

图9可以看出: 在相同压力下, 曲线 Z1 的沉降量小于曲线 Z2、Z3 和 Z4, 这说明虽然经过 $15000\text{kN}\cdot\text{m}$ 能级强夯处理后, 地基土的承载力有了较大提高, 能够满足设计要求, 但夯点下的加固效果要优于夯点间的加固效果。

2.3.6 静力触探试验结果分析

$15000\text{kN}\cdot\text{m}$ 能级强夯夯前和夯后锥尖阻力与深度变化的关系曲线见图10。从图10中可以看出: 经过 $15000\text{kN}\cdot\text{m}$ 能级强夯处理后, 地基土的承载力提高明显, 12m 以内, 夯后地基土的锥尖阻力随着深度增加明显大于夯前地基土的锥尖阻力, 到 12m 后不再明显。因此, 地基土经过 $15000\text{kN}\cdot\text{m}$ 能级处理后, 12m 以内, 地基土的承载力显著提高, 高能级强夯处理地基的效果明显。

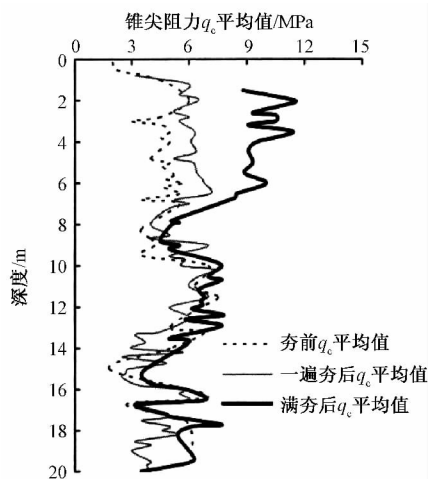


图10 锥尖阻力随深度变化曲线图

3 结语

(1) 在湿陷性黄土地区, 采用高能级强夯法处理湿陷性黄土, 可完全消除黄土的湿陷性, 达到地基处理的预期目标。

(2) 本次采用的高能级强夯设计及施工技术参数通过进行湿陷性黄土地基处理取得了良好效果, 在类似工程场地具有较好的实际参考价值。

参考文献:

- [1] 费香泽, 王 钊, 周正兵, 等. 黄土强夯的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(4): 437-441.
- [2] 谢能刚, 王 璐, 邱 晗. 强夯动接触力的碰撞分析与并行优化求解[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(13): 2172-2176.
- [3] 年廷凯, 李鸿江, 杨 庆, 等. 不同土质条件下高能级强夯加固效果测试与对比分析[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(1): 139-144.
- [4] 贾敏才, 王 磊, 周 健. 砂性土宏细观强夯加固机制的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增1): 3282-3290.
- [5] 张兴元, 张豫川, 张 可, 等. 高能级强夯室内模型试验研究[J]. 工程勘察, 2011(9): 9-13.
- [6] 熊巨华, 胡 斌, 冯世进, 等. 强夯法加固粉土地基室内模型试验研究[J]. 世界地震, 2011(4): 474-479.
- [7] 何长明, 邹金锋, 李 亮. 强夯动应力的量测及现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(4): 628-632.
- [8] 罗 恒, 邹金锋, 李 亮, 等. 红砂岩碎石土高填方路基强夯加固时的动应力扩散及土体变形试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增1): 2701-2706.
- [9] 张清峰, 王东权. 强夯法加固煤矸石地基动应力模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(6): 1142-1147.
- [10] 张清峰, 王东权, 王 伟. 强夯法加固煤矸石地基破碎密实机制探讨[J]. 建筑科学, 2010, 26(7): 13-16.
- [11] 张清峰. 强夯加固煤矸石地基物理模拟试验研究[J]. 铁道建筑, 2010(2): 52-54.
- [12] 石 亮. 冲击作用下砂土地基地面变形规律的模型试验研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2011.
- [13] 赵 康, 石 亮, 罗嗣海. 一种便捷强夯模型试验装置的设计及应用[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2012, 44(2): 224-229.
- [14] 冯世进, 胡 斌, 张 旭, 等. 强夯参数对夯击效果影响的室内模型试验[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2012, 40(8): 1147-1153.
- [15] 杨天亮, 叶观宝. 高能级强夯法在湿陷性黄土地基处理中的应用研究[J]. 长江科学院院报, 2008, (02): 58-61.
- [16] 聂 辉. 杂填土下卧软弱土地基强夯加固效果及质量检测[D]. 江西: 江西理工大学, 2009.
- [17] 高 洁, 高宗辅, 马安刚, 等. 高能级强夯加固大厚度湿陷性黄土地基[J]. 建筑机械化, 1993(02): 4-6.

【责任编辑 杨晓芳】