

滕光亮.大厚度黄土地区单击夯击能影响强夯加固效果的试验研究[J].地震工程学报,2020,42(3):759-763.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.03.759
TENG Guangliang.Experimental Study on the Effect of Single Tamping Energy on Dynamic Compaction Reinforcement in Large-Thickness-Loess Area[J].China Earthquake Engineering Journal,2020,42(3):759-763.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.03.759

大厚度黄土地区单击夯击能影响 强夯加固效果的试验研究

滕光亮

(甘肃省建筑设计研究院有限公司,甘肃兰州730000)

摘要:针对黄土丘陵地区高填方下大厚度黄土地基强夯加固参数及效果开展了系列试验研究,分析了强夯前、后各试验区平均夯沉量和土体主要物理力学指标的变化规律,并给出6 000、8 000、10 000、12 000 kN·m能级条件下强夯加固的夯点中心距、击数、有效加固深度等主要参数,在此基础上确定了强夯有效加固深度的估算方法。试验结果表明,加固后黄土的孔隙比、干密度和湿陷系数可作为强夯加固效果的评价指标;强夯处理后地基土的物理力学指标在满足设计要求时其下限深度即为有效处理深度;在湿陷性大厚度黄土地区,以夯点土和夯间土湿陷性均消除的地基土下限深度可作为有效处理深度。

关键词:单击夯击能;孔隙比;干密度;湿陷系数;有效处理深度

中图分类号: TU47

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2020)03-0759-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.03.759

Experimental Study on the Effect of Single Tamping Energy on Dynamic Compaction Reinforcement in Large-Thickness-Loess Area

TENG Guangliang

(Gansu Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Lanzhou 730030, Gansu, China)

Abstract: A series of tests was carried out to study the dynamic compaction parameters of a large-thickness-loess foundation in a loess hilly region. The average settlement of each test area before and after dynamic compaction and the change law of the main physical and mechanical indexes of soil were analyzed. The main parameters were gained, such as the center distance of dynamic compaction points, impact number, and the effective reinforcement depth under energy levels of 6 000, 8 000, 10 000, and 12 000 kN·m. Hence, the empirical method of determining the effective reinforcement depth of dynamic compaction was given. The test results showed that the void

收稿日期: 2019-12-12

基金项目: 地震联合基金项目(U1939209);甘肃省重点研发计划(18YF1FA101)

作者简介: 滕光亮(1986-),男,甘肃金昌人,工程师,硕士研究生,注册岩土工程师,研究方向:岩土工程及结构工程。

E-mail: gulteng@163.com。

ratio, dry density, and collapsibility coefficient of the reinforced loess can be used as the evaluation indexes of the reinforcement effect. If the physical and mechanical indexes of the ground soil after dynamic compaction meet the design requirements, the lower limit depth is the effective reinforcement depth. In the collapsible loess area with large overburden thickness, the lower limit depth of foundation soil after eliminating the collapsibility can be used as the effective reinforcement depth

Keywords: single tamping energy; void ratio; dry density; coefficient of collapsibility; effective reinforce depth

0 引言

随着西部地区城市经济的快速发展,建设用地极为紧张,充分利用山地进行挖山填沟、削建建塬成为山区城市扩大建设规模的唯一选择。而由此产生的大挖大填工程,必然会存在十几米甚至上百米厚度的填筑体。为确保在这些填筑体上修建的建筑物能够在其服役期内正常使用,势必在修建前对深厚填筑体采取适当的处理措施。近些年的工程实践中,由于强夯法性价比高,在处理深厚回填土地基处理中得到了广泛应用^[1]。

强夯法也称为动力固结,它借助夯锤在自由下落过程中的动能转化为冲击能,进而使地基土产生很大的动应力和冲击波,致使地基土孔隙压缩,在夯击点附近一定深度内产生裂隙,形成良好的排水(气)通道,使土中孔隙水(气)顺利逸出,进而使土体固结,在有效影响深度范围内使土体密实,从而达到消除土体的湿陷性以及提高强度、降低压缩性、提高土层均匀程度的目的。

强夯加固效果的影响因素比较复杂,有外因和内因。外因主要是施工工艺因素,包含锤重、锤形、夯点布置、锤底面积、落距、夯点击数、夯击遍数即单位面积夯击能、间歇时间等;内因主要为地基土的物理力学性质及赋存环境,包含粒径、相对密度、饱和度、不同土层的厚度和埋藏顺序、地下水位等^[2-9]。

1 工程及工程地质概况

1.1 工程概述

拟建工程场地位于兰州新区,地处大厚度湿陷性黄土区域,湿陷性土层下限深度超过 42.0 m,根据场地土工试验数据计算出总湿陷量 $\Delta s = 1\ 650.8 \sim 3\ 712.4$ mm,自重湿陷量 $\Delta z_s = 1\ 451.2 \sim 3\ 490.7$ mm,判定为Ⅳ级(很严重)自重湿陷性场地。

1.2 工程地质概况

场地地貌单元属乌鞘岭南坡的黄土梁、峁间断

陷的秦王川盆地。盆地基底为第三系棕红色泥岩、砂岩,其上沉积有较厚的第四系中~晚更新世冲洪积地层,表层为第四系全新世冲洪积物覆盖层,地下水资源贫乏。场地原为高低起伏的黄土低山、丘陵,经削山整平后成为较平整的场地。

根据现场勘探揭露,在勘察深度范围内场地地层主要为第四系风积物,地层由素填土、黄土状粉土、马兰黄土等构成,地层分布自上而下依次为:①素填土(Q_1^{ml})层厚 0.3~6.5 m,浅黄色,土质均匀,偶见植物根系,岩芯呈散状,干燥-稍湿,稍密;②黄土状粉土(Q_4^{col})层厚 11.5~29.7 m,浅黄色,土质均匀,主要成分为粉粒,黏粒含量低,小孔隙较发育,干强度中等,韧性低,无光泽,底部土质较坚硬,稍湿,稍密-中密;③马兰黄土(Q_3^{col})层厚 20.0~40.0 m,浅黄色,土质均匀,干强度中等,韧性低,无光泽,土质坚硬,稍湿,稍密-中密。

1.3 水文地质概况

该场地内仅在局部分布有滞水,水位埋深 62.3 m,可不考虑地下水的影响。

2 强夯试验区及检测点布置

在场地内设置 20.0 m×30.0 m 的四个试验区,分别采用不同的单击夯击能进行强夯处理,处理参数列于表 1,夯点布置、夯击遍数和取样位置见图 1~图 4 所示。各试验区探井均间隔 1.0 m 取土样进行室内土工试验,通过比较强夯处理后土样的孔隙比、密实度和湿陷系数,选择一种经济、高效、实用的单击夯击能处理方案。

3 土工试验结果评价

3.1 孔隙比

由图 5 可以看出,用不同单击夯击能对地基土进行强夯处理时,同一深度处夯点土的处理效果优于夯间土;在 1.0~15.0 m 深度范围内,单击夯

表 1 不同单击夯击能强夯处理参数

Table 1 Dynamic compaction treatment parameters of different single-rammer energy		6 000	8 000	10 000	12 000
单击夯击能/(kN·m)		6 000	8 000	10 000	12 000
夯锤重量/t		45.6	49.8	48.5	54.0
夯锤直径/m		2.50	2.50	2.70	2.60
落距/m		13.1	16.0	21.0	22.03
夯击遍数		2 遍	3 遍	2 遍	4 遍
夯点布置形式		梅花形	正方形	正方形	正方形
累计夯沉量/cm		102~176	73~201	178~284	111~250
最后两击平均夯沉量/cm		3~8	3.5~9	1~9	2.5~9
满夯夯击能/(kN·m)		2 000	2 000	1 500	3 000
夯击遍数及夯击能	第 1 遍	夯击次数	8	10	12
		夯击能	6 000	8 000	10 000
	第 2 遍	夯击次数	8	10	12
		夯击能	6 000	8 000	10 000
	第 3 遍	夯击次数	-	6	-
		夯击能	-	4 000	-
	第 4 遍	夯击次数	-	-	6
		夯击能	-	-	6 000

注:满夯时搭接锤印不大于四分之一夯锤直径。

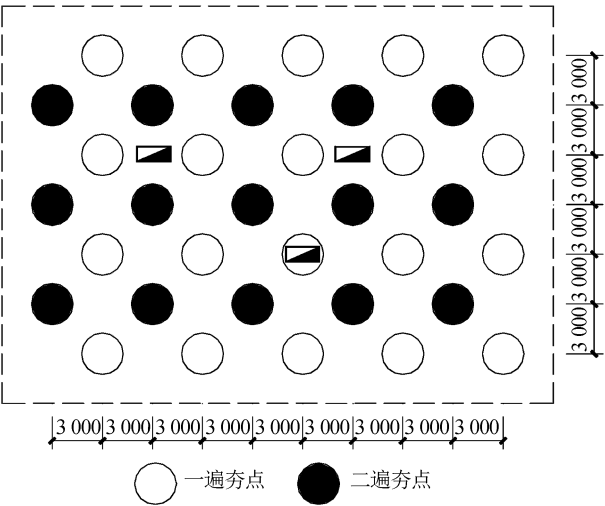


图 1 单击夯击能 6 000 kN·m 处理区域
Fig.1 The area of the energy levels of 6 000 kN·m

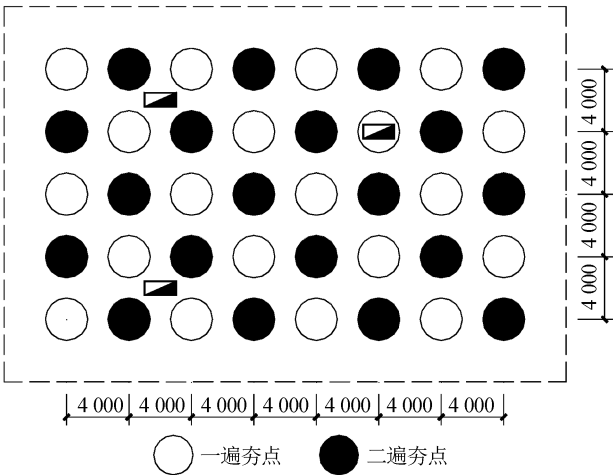


图 3 单击夯击能 10 000 kN·m 处理区域
Fig.3 The area of the energy levels of 10 000 kN·m

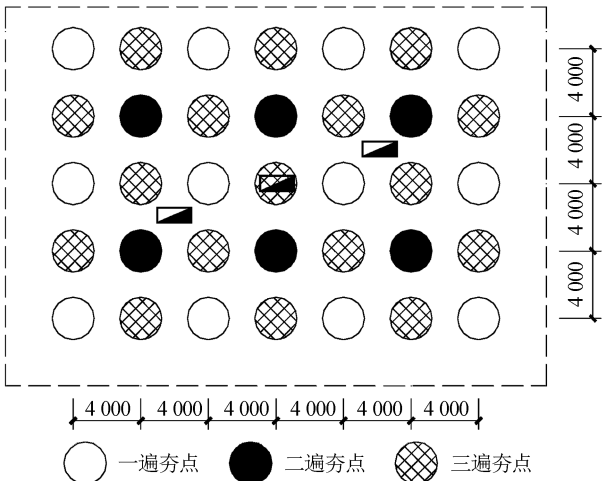


图 2 单击夯击能 8000 kN·m 处理区域
Fig.2 The area of the energy levels of 8 000 kN·m

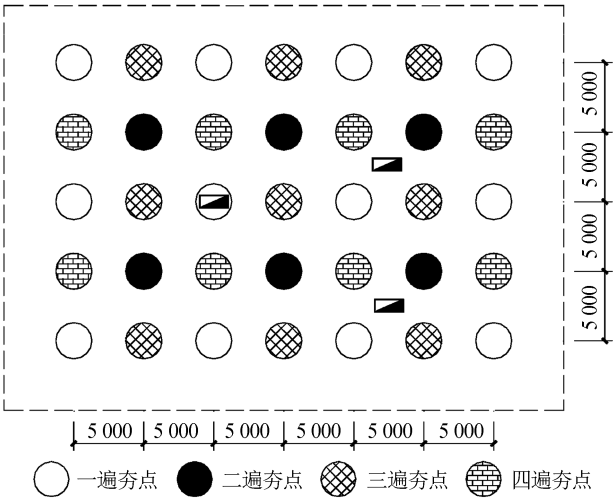


图 4 单击夯击能 12 000 kN·m 处理区域
Fig.4 The area of the energy levels of 12 000 kN·m

击能越大,同一深度夯点土的孔隙比变得越小;由于各试夯区夯点距和夯击遍数不同,对夯间土产生的挤密效果也不尽相同,其孔隙比变化较复杂,但与原始土的孔隙比相比均具明显的降低趋势,在深度 14.0 m 处,夯间土孔隙比受单击夯击能的影响趋势减缓,趋于收敛。总体来看,在一定深度范围内单击夯击能对夯点土的孔隙比减小值大于夯间土。

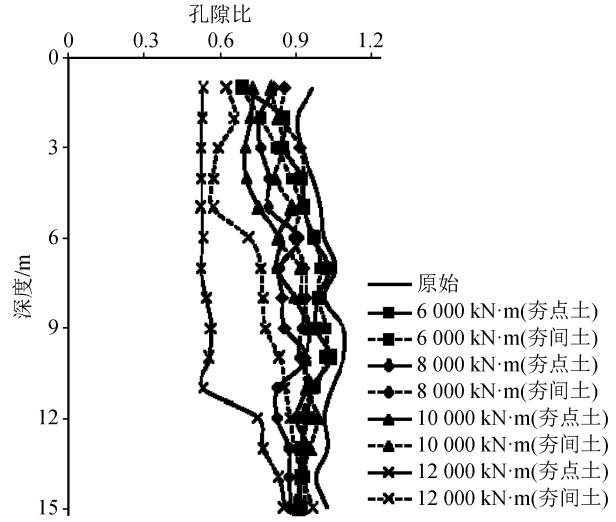


图 5 孔隙比随深度变化趋势

Fig.5 Variation trend of void ratio with depth

3.2 干密度

由图 6 可以看出,在 1.0~15.0 m 范围内,对同一单击夯击能处理后的地基土,同一深度处夯点土的干密度大于夯间土干密度。由于各试夯区夯点距和夯击遍数不同,对夯间土产生的挤密效果也不尽相同,其干密度变化较复杂,但与原始土的干密度相比均具明显增大的趋势。总体来看,在一定深度范围内夯点土的密实度增加值优于夯间土。

3.3 湿陷系数

由图 7 可以看出,单击夯击能越大,夯点土和夯间土消除湿陷性的深度(湿陷系数小于 0.015 的上限深度)也越深。总体来看,对于同一单击夯击能,夯点土消除湿陷的效果优于夯间土。

对同一单击夯击能试夯区,消除地基土湿陷性的深度为夯点土和夯间土均消除湿陷性的下限深度。由此确定,单击夯击能 6 000 kN·m 消除湿陷深度为 8.0 m,单击夯击能 8 000 kN·m 消除湿陷深度为 9.0 m,单击夯击能 10 000 kN·m 消除湿陷深度为 12.0 m,单击夯击能 12 000 kN·m 消除湿陷深度为 14.0 m。

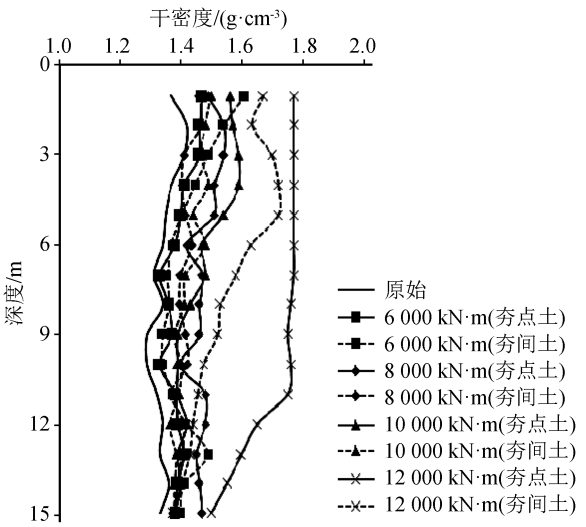


图 6 干密度随深度变化趋势

Fig.6 Variation trend of dry density with depth

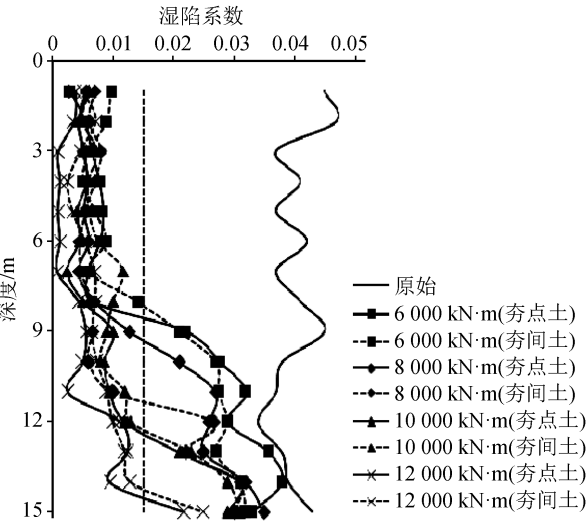


图 7 湿陷系数随深度变化趋势

Fig.7 Variation trend of coefficient of collapsibility with depth

4 有效处理深度的确定

强夯法处理地基后,有效处理深度为经强夯处理后地基土的物理力学指标能够满足设计要求的下限深度。对于该项目处理湿陷性黄土的主要目的是消除地基土的湿陷性,因此以夯点土和夯间土湿陷性均消除的地基土下限深度作为有效处理深度。

由此确定该试验区单击夯击能 6 000 kN·m 时的有效处理深度为 8.0 m,单击夯击能 8 000 kN·m 时的有效处理深度为 9.0 m,单击夯击能 10 000 kN·m 时的有效处理深度为 12.0 m,单击夯击能 12 000 kN·m 时的有效处理深度为 14.0 m。

由于场地土的天然含水率接近最优含水率,有

效加固深度较规范值略大,取得了较好的加固效果。

5 结论与讨论

强夯处理地基后,土样的孔隙比、干密度和湿陷系数三个参数值能很好地对处理效果进行评价。因夯点距和夯击遍数不同,对夯间土产生的挤密效果也不尽相同,其孔隙比、干密度和湿陷系数变化较复杂。夯点间距和夯击遍数与三个参数之间的定量关系尚待进一步研究。

在 1.0~8.0 m 范围内,湿陷系数较原始值明显减小,8.0 m 以下湿陷系数减幅变小。且单击夯击能越大,消除湿陷的深度也越深。

强夯法处理地基后,有效处理深度为经强夯处理后地基土的物理力学指标能够满足设计要求的下限深度。当处理湿陷性黄土的主要目的是消除地基土的湿陷性时,以夯点土和夯间土湿陷性均消除的地基土下限深度作为有效处理深度。

参考文献(References)

- [1] 水伟厚,董炳寅,梁富华.湿陷性黄土地区高填方压实地 20 000 kN·m 超高能级强夯处理试验研究[A]//第十四届全国地基处理学术会议论文集.江西:江西科学技术出版社,2016, 247-253.
- SHUI Weihou, DONG Bingyin, LIANG Fuhua. Experiment Research of 20 000 kN·m Ultra-high Dynamic Compaction about the Collapsible Loess Area High Fill Foundation after Compaction [A]//The Paper Collection of Fourteenth National Conference on Foundation Treatment. Jiangxi: Jiangxi Science and Technology Press, 2016, 247-253.
- [2] 张北战,姚仰平,方雨菲.填土地基强夯加固效果研究[J].地震工程学报,2015,37(增刊 1):30-34.
- ZHANG Beizhan, YAO Yangping, FANG Yufei. Reinforcement Effect of Dynamic Compaction on a Backfilled Foundation[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2015, 37(Supp1): 30-34.
- [3] 吕耀志,谭儒蛟,张建根,等. Rayleigh 波评价强夯加固效果量化分析研究[J].地震工程学报,2015,37(增刊 2):218-222.

LÜ Yaozhi, TAN Rujiao, ZHANG Jianguan, et al. Quantitative Analysis of the Evaluation of the Reinforcement Effect of Dynamic Compaction Using a Rayleigh Surface Wave[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2015, 37(Supp2): 218-222.

- [4] 李盼盼,王家鼎,谷天峰,等.强夯振动加速度的量测及现场试验研究[J].地震工程学报,2018,40(1):166-170.
- LI Panpan, WANG Jiading, GU Tianfeng, et al. Measurement and Field Test Research on Vibration Acceleration of Dynamic Compaction[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(1): 166-170.
- [5] 黄雪峰,陈正汉,张广平,等.高能量强夯在处理湿陷性黄土地基和不良地质体工程中的应用研究[J].后勤工程学院学报, 2007, 23(1): 5-10.
- HUANG Xuefeng, CHEN Zhenghan, ZHANG Guangping, et al. Application Research for High Energy Strong Rammer in Deal with Collapsed Loess and Unfavorable Geology Engineering[J]. Journal of Logistical Engineering University, 2007, 23(1): 5-10.
- [6] 彭惠,李文勇.不同强夯加固方案的现场量测与分析[J].建筑结构,2000,30(5):49-52,59.
- PENG Hui, LI Wenyong. Field Measurements and Analysis of Different Stabilization Plans of Dynamic Consolidation [J]. Building Structure, 2000, 30(5): 49-52, 59.
- [7] 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.
- NIAN Tingkai, LI Hongjiang, YANG Qing, et al. Improvement Effect of High Energy Dynamic Compaction under Complicated Geological Conditions[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(1): 139-144.
- [8] 蔡袁强,王大力,徐长节,等.强夯加固机理及其环境影响的数值分析[J].岩土力学,2005,26(增刊 1):159-162.
- CAI Yuanqiang, WANG Dali, XU Changjie, et al. Numerical Analysis of Dynamic Compaction and Environmental Effect Caused by the Impacting Vibration[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(Supp1): 159-162.
- [9] 段士伟.强夯加固影响深度之探讨[J].建筑结构,2000,30(5): 53-56.
- DUAN Shiwei. Exploration for the Influence Depth of Dynamic Consolidation[J]. Building Structure, 2000, 30(5): 53-56.