

文章编号:1673-0291(2010)01-0050-04

某站场地基强夯振动影响范围研究

安惠泽^{1,2},许兆义¹,冯瑞玲¹

(1.北京交通大学 土木建筑工程学院,北京 100044;2.中铁第五勘察设计院集团有限公司,北京 102600)

摘要:针对某站场地基采用 6 000 kN·m 夯击能强夯加固海漫滩填海区工程,现场测试了地表振动速度,在此基础上,分析研究了振动在水平方向的衰减规律、主振频率等,分析了拟建场地边立交桥在不同夯击能下的安全距离.结果表明:地表最大振动速度的衰减规律满足乘幂关系;强夯产生的振动的主振频率均处于 10 Hz 以下;以地表振动速度作为判别标准,测得该场地在 6 000 kN·m 夯击能下对立交桥的安全距离为 30 m.

关键词:强夯;振动;安全距离

中图分类号: TU472 **文献标志码:** A

Study on the Ground Vibration Zone During Dynamic Compaction for Site Improvement of A Railway Station and Yard Ground

AN Huize^{1,2}, XU Zhaoyi¹, FENG Ruiling¹

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. The Fifth Survey & Design Institute of China Railway, Beijing 102600, China)

Abstract: A floodplain near the sea for railway station and yard ground was treated by dynamic compaction method with 6 000 kN·m dynamic energy, and the vibration velocity of the ground was tested in site. Then the paper studies the attenuation rule of the vibration velocity along the horizontal direction, the principal vibration frequency, etc. and analyzes the safe distance of an overpass near the construction site under different dynamic energy based on the test results. The results show that the attenuation rule of the maximum velocity is coincident with the power function; the principal vibration frequency caused by dynamic compaction is less than 10 Hz; the safe distance of the overpass is 30 meter when the dynamic energy is 6 000 kN·m.

Key words: dynamic compaction; vibration; safe distance

强夯法亦称为动力固结法,是法国梅那德技术公司首创的一种地基加固方法,迄今已为国内外广泛采用^[1].强夯法加固地基的优点主要体现在设备简单、施工方便、经济高效、原理直观、工期短、适用范围广、节省材料等方面.强夯法能以较低的成本大幅度地提高地基土的抗液化能力和强度并降低其压缩性,故在工程中往往作为地基处理的首选方法.但也存在不容忽视的缺点:强夯过程中产生的强烈振

动会对附近的生活、工作、生产环境及临近建筑物带来许多不利影响^[2-4].因此,了解和掌握不同场地条件下强夯振动的影响范围及其衰减规律,对于强夯法在工程中的广泛应用具有重要意义.然而目前国内关于强夯法加固地基的研究主要偏重于强夯加固机理方面,有关强夯振动影响范围方面的研究相对较少.

本文作者基于某海漫滩填海地基强夯加固过程

收稿日期:2008-05-15

基金项目:教育部“培育资金”项目资助(708010)

作者简介:安惠泽(1976—),男,甘肃庆阳人,高级工程师,博士生. email:shuizean@sina.com.

许兆义(1950—),男,吉林梨树人,教授,博士,博士生导师.

中现场测试的地表振动速度,通过计算分析得到了振动随水平距离的增加的变化规律,对强夯振动的影响范围进行了分析研究。

1 工程地质概况

1.1 地质概况

拟建场地大窑湾海漫滩填海区主要是丘前缓坡、剥蚀残丘地貌,西部、中部、北部为大窑湾漫滩区,随着填海造地的发展,大部分已经被填土覆盖,东部为丘前缓坡及剥蚀残丘。

为了获得有效的施工参数指导施工设计,选择了地质情况与地面荷载有代表性的地点作为试夯区^[5]。根据岩土工程勘察报告,试夯区场地地层情况自上而下分为 4 层。素填土:黄褐色,潮湿,2.6

m 下饱和,松散,主要由弱风化石英岩角砾、中粗砂及黏性土组成;素填土:灰黑色,饱和,松散,主要由石英岩角砾、中粗砂及淤泥质土组成;砂砾:灰黑色,饱和,松散,含少量淤泥;板岩:黄褐色,全风化,岩芯呈砂土状,手捻易碎。

1.2 强夯施工参数

强夯试验区面积为 20 m × 20 m。按照试夯方案,第一遍先进行点夯,夯击能为 6 000 kN·m,夯点间距为 8 m,第 1 遍完成后平整;在第 1 遍夯点之间布置第 2 遍点夯,夯击能为 3 000 kN·m,间距 8 m,以加固第 1 遍的盲区;两遍点夯完成后,再进行满夯,夯击能为 1 500 kN·m,锤重 10 t,满夯锤印搭接 1/4。试夯完成后地基承载力要求达到 200 kPa。试夯参数见表 1。

表 1 试夯区(夯击能 6 000 kN·m)的施工参数

遍次	夯击能量/ (kN·m)	锤重/t	落距/m	夯点间距 (纵向×横向)/m	击数	备注
1	6 000	32	18.75	8×8	13~15	最后两击平均夯沉量不大于 10 cm
2	3 000	20	15	8×8	8~9	最后两击平均夯沉量不大于 5 cm
3	1 500	10	15	-	3	锤印搭接 1/4

2 振动监测试验

2.1 试验目的

由强夯夯击产生的振动波会向四周传播,从而对周围构筑物(公路立交桥和既有铁路线)产生不利影响。由于受到地基土中的阻尼和振动能量扩散的影响,振动波在地基传播过程中,其振幅随离开震源的距离增大而逐渐减小。为了确保立交桥和既有铁路线的安全,选择了典型场地进行试夯,通过试夯确定不同夯击能对构筑物的安全距离。

2.2 振动监测方案

对在 6 000 kN·m 夯击能强夯下不同距离处的振动速度进行监测,在此基础上提出强夯作业的安全距离。在强夯过程中,在距夯点 5、10、20、30、40、60 m 处沿水平和垂直方向布置速度监测点,并进行数据采集。现场监测采用 Miniseis24 型综合工程探测器进行,它是集数据采集和数据处理于一体的智能化地震数据采集系统,具有 24 个宽频带信号输入通道,能进行浅层地震波勘探、波速测试、瞬态多点瑞雷波勘探及构筑物的振动监测等工作。本次振动速度监测的采样率为 1 ms,采样长度为 8 kb。

3 振动监测结果分析

3.1 振动监测结果

对所采集的各点位的振动速度信号进行处理,

即可得到各方向的最大振动速度 V_{max} ,选取时间段对每道数据进行频谱分析,确定强夯振动的主频。

1) 振动速度。

测试点处水平、垂直方向的振动速度在不同夯击次数时的监测结果见图 1。

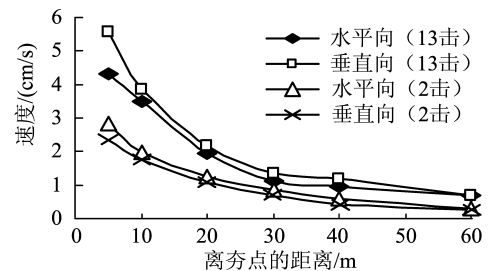


图 1 夯击次数与振动速度间的关系

Fig. 1 Relationship between the compact times and the vibration velocity

从图 1 可知:在强夯初期(2 击),由于地层强度不高,土层中垂直方向振动速度小于水平方向振动速度;随着距夯点距离的增加,垂直和水平方向速度渐趋接近;在强夯后期(13 击),由于地基强度增长,土层中水平方向速度小于垂直向速度,水平和垂直方向速度随着距离的增加而渐趋接近。由此可以看出:强夯引起的振动的影响因素除夯击能外,还受到土质松软程度、夯击次数、夯击遍数等因素的影响。当土质较松软时,由于每锤夯击下沉量大,消耗于变形的夯击能量也多,振动就小。随着夯击次数和遍数

的增加,同一场地地层强度增大,振动的影响程度也增大。

图2为拟建场地在6 000 kN·m的夯击能下,最大振速与传播距离之间的关系。

从图2可以看出:强夯引起的质点最大振动速度在30 m以外较小,振动速度衰减很快;6 000 kJ能级强夯最大振动速度的衰减规律为

$$v_{\max} = 23.801 x^{-0.832},$$

相关系数 $R = 0.9905$,其中 x 为离夯点的距离,m。

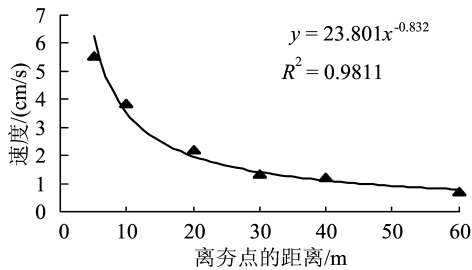


图2 最大振速与传播距离关系曲线

Fig. 2 Relationship between the maximum vibration velocity and the compact times

2) 振动主频与时长.

强夯所产生的振动主振频率是指振动频谱中振幅最大的谐波分量的频率,是影响构筑物的一个重要参数.夯击引起的质点振动是由多种不同频率、相位和振幅的简谐振动叠加而成,是一个脉冲振动过程.频谱分析的目的是要避免构筑物发生共振,即避免构筑物的固有频率等于强夯振动的主振频率.由场地6 000 kJ夯击能的频谱分析所得的主频及时长见表2,其中,距离指从夯点到仪器摆放位置之间的距离.

表2 强夯场地周边振动情况实测结果

Tab. 2 Tested vibration parameters nearby the treated area

距离/m	主频/Hz	振动时长/s
5	6	2
10	6	2
20	6	2
30	7	2
40	7	2
60	7	2

从表2可以看出,强夯产生的振动主振频率较低,均处于10 Hz以下;强夯产生的振动主振频率随着距夯击点距离的不同而不同,表现为远处频率高,近处频率低。

一般来讲,强夯所引起的振动速度峰值强度的持续时间约为0.05~0.08 s;夯心附近振动的总持续时间约为0.1~0.5 s,振动2~3次;距夯心几十米远处振动时间可达1~2 s,振动10余次.本次测

试的振动时长为2 s。

3.2 确定安全距离

强夯施加给地基的巨大夯击能量可使附近的场地下沉和隆起,同时冲击波向外传播,从而对周围的地基及建筑物产生振动和噪声等影响,严重时还可能引起场地表面和建筑物不同程度的损伤与破坏。

目前关于地震对构筑物的危害的评价指标主要有:烈度、加速度、振动持续时间等.强夯引起的振动与地震不同,其危害程度也不同,但由于目前尚未形成对构筑物危害判别的统一标准.因此,在参考地震对构筑物危害的评价指标的基础上,国内外对强夯振动影响采用的判别标准主要包括:以地面速度作为判别标准;以地面加速度作为判别标准;以扰动影响系数 k 作为判别标准.在该工程中,振动危害的判别采用第1个标准,即以地面速度作为判别标准。

1) 6 000 kJ 夯击能时的安全距离.

我国现行国家标准《爆破安全规程》(GB6722-2003)中规定的爆破振动速度及振动主频的范围表明,强夯引起的地面振动与深孔岩石爆破相近^[6].根据我国现行国家标准《爆破安全规程》(GB6722-2003)中对爆破地震安全的规定,主要类型的建(构)筑物地面质点的安全振动速度为:对于钢筋混凝土框架房屋取3.0~4.0 cm/s,对于单次或短期强夯控制振速在3.0 cm/s以下;考虑频繁强夯引起的振动带来的疲劳问题,取1/2的标准即1.5 cm/s,即强夯振动速度控制在1.5 cm/s以下就不会对立交桥造成损害.由此确定的6 000 kJ夯击能下对立交桥的安全距离为30 m。

2) 不同能级夯击能时安全距离的推算.

我国现行国家标准《爆破安全规程》(GB6722-2003)中规定,强夯引起的地震特性可根据地震安全速度公式进行分析,即

$$v = K(Q^{1/3}/R) \quad (1)$$

式中: v 为地震安全速度,cm/s; R 为地震安全距离,m; Q 为强夯能量,kN·m; K 、分别为与强夯点地形、地质等条件有关的系数和衰减指数,可根据强夯能量 Q 、距离 R 及实测地震速度 v 等确定。

根据实测数据图2对式(1)中两个未知参数进行拟合,得到 $K = 2.274$, $\alpha = 0.935$ 。

由实测结果可知,在该地区夯锤6 000 kN·m工况下,立交桥在距离夯点30 m范围外不受强夯影响.由拟合参数推算,在相同的情况下,如果考虑4 000 kN·m强夯对立交桥的影响,可得安全距离为25 m;如果考虑3 000 kN·m强夯对立交桥的影响,

可得安全距离为 22 m.

4 结论

- 1) 地表最大振动速度的衰减规律满足乘幂关系 $v_{\max} = 23.801 x^{-0.832}$, 相关系数 $R = 0.9905$.
- 2) 强夯产生的振动的主振频率较低, 均处于 10 Hz 以下.
- 3) 以地表振动速度为判别标准, 测得该场地在 6 000 kN·m 夯击能下对立交桥的安全距离应设为 30 m.
- 4) 根据强夯引起的地震特性推算出, 当夯击能分别为 4 000 kN·m 和 3 000 kN·m 时, 立交桥的安全距离分别为 25 m 和 22 m.

参考文献:

- [1] 王铁宏. 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, 1998.
WANG Tiehong. Ground Treatment Engineering Practice of the Major Projects in China[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998. (in Chinese)
- [2] 施有志. 强夯引起的振动规律及环境效应分析[J]. 岩土工程技术, 2007, 21(3): 144 - 148.

- SHI Youzhi. Vibration Produced by Heavy Tamping and Its Environmental Effect [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2007, 21(3): 144 - 148. (in Chinese)
- [3] 雷学文, 白世伟, 孟庆山. 强夯引起的振动规律及对建筑物的影响分析[J]. 建筑技术开发, 2002, 29(12): 20 - 21.
LEI Xuewen, BAI Shiwei, MENG Qingshan. Analysis on the Vibration Produced by Heavy Tamping [J]. Building Technique Development, 2002, 29(12): 20 - 21. (in Chinese)
- [4] 方磊, 经绯, 刘松玉. 强夯振动影响与构筑物安全距离研究[J]. 东南大学学报, 2001, 31(3): 29 - 32.
FANG Lei, JING Fei, LIU Songyu. Influence of Vibration Caused by Dynamic Compaction and Safe Distances for Buildings [J]. Journal of southeast University, 2001, 31(3): 29 - 32. (in Chinese)
- [5] JGJ 79 - 2002, 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
JGJ 79 - 2002, Technical Code for Ground Treatment of Buildings [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese)
- [6] GB6722 - 2003, 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
GB6722 - 2003, Safety Regulations for Blasting [S]. Beijing: Standards Press of China, 2003. (in Chinese)

(上接第 49 页)

- [10] 郑颖人, 赵尚毅, 宋雅坤. 有限元强度折减法研究进展[J]. 后勤工程学院学报, 2005, 21(3): 1 - 6.
ZHENG Yingren, ZHAO Shangyi, SONG Yakun. Advance of Study on the Strength Reduction Finite Element Method [J]. Journal of Logistical Engineering University, 2005, 21(3): 1 - 6. (in Chinese)
- [11] 马建勋, 赖志生, 蔡庆娥, 等. 基于强度折减法的边坡稳定性三维有限元分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16): 2690 - 2693.
MA Jianxun, LAI Zhisheng, CAI Qinge, et al. 3D FEM Analysis of Slope Stability Based on Strength Reduction Method [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2690 - 2693. (in Chinese)
- [12] Duncan J M. State of the Art: Limit Equilibrium and Finite - Element Analysis of Slopes [J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, 122(7): 577 - 596.
- [13] Zienkiewicz O C, Humpheson C, Lewis R W. Associated and Non - Associated Visco - Plasticity and Plasticity in Soil Mechanics [J]. Geotechnique, 1975, 25(4): 671 - 689.
- [14] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用 [M]. 北京: 中国水利出版社, 1998: 333 - 337.
ZHU Bofang. The Finite Element Method Theory and Applications [M]. Beijing: China Water Power Press, 1998: 333 - 337. (in Chinese)
- [15] 连锁营, 韩国城, 吕凯歌. 土钉支护弹塑性数值分析及稳定性探讨 [J]. 岩土力学, 2002, 23(1): 85 - 89.
LIAN Zhenying, HAN Guocheng, LU Kaige. Elastoplastic Numerical Analysis and Stability Study of Soil - Nailed Wall [J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(1): 85 - 89. (in Chinese)