

# 振动衰减测试方法确定高能级强夯对 已有建(构)筑物的影响距离

王文鹏, 秦晓东

(北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102)

**摘要:**某大型新建工程场地为近期吹砂填海方式形成, 根据有关资料及勘察揭露, 上部吹填层及原有细砂层存在地震液化及承载能力差的问题, 设计采用高能级强夯进行处理。在地基处理区域处有一道永久防浪堤, 根据设计要求, 在进行强夯试夯过程中应采用一定的方法对振动影响进行测试, 为设计提供相应的数据, 进而确定强夯施工的范围。为解决上述问题, 采用了振动衰减测试方法进行了强夯振动影响测试, 对后期的大面积强夯施工提供了支持。通过该工程实例, 介绍了振动衰减测试及其测试结果分析的方法。

**关键词:**振动衰减测试; 强夯; 高能级; 地震加速度; 地基处理; 隔震沟

**中图分类号:** TU41    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2010)12-0061-04

**Influence Distance of High-energy Level Dynamic Compaction to Existed Building Determined by Vibration Attenuation Test/WANG Wen-peng, QIN Xiao-dong** (Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

**Abstract:** The paper introduced a large newly built engineering site, which was formed by filling sand for sea reclamation in the recent. The investigation exposed that there were earthquake liquefaction and low bearing capacity in the upper formation, high-energy compaction was planned for treatment; and the safe distance should be determined to avoid the vibration influence to the existed permanent breakwater by testing. The vibration attenuation test was adopted to have dynamic compaction vibration test to support the late large-scale compaction construction. The vibration attenuation test and the test result analysis were illustrated with the engineering case.

**Key words:** vibration attenuation test; dynamic compaction; high-energy level; seismic acceleration; ground treatment; seismic isolation groove

## 1 基本原理

由动力基础、交通运输、建筑施工等产生的振动, 将通过地基土传播向四周扩散, 对其它建(构)筑物等会产生不利的影响。振动波在地基土中的传播由于受到地基土中的内阻尼和振动能量的扩散, 其振幅随着离开振源的距离而逐级减小。研究表明, 体波的振幅与传播距离  $r^{-1}$  成正比减小, 而表面波振幅与传播距离  $r^{-1/2}$  成正比减小。振动波在地基土中的衰减的快慢与地基土类别有密切的关系, 还与振源的性质、能量大小、激振频率、振源距离等因素有关。所以振动衰减测试要考虑上述诸因素, 根据工程的需要选用振源及测点布置。

## 2 工程概述

唐山曹妃甸新建某工程场地为近期吹砂填海方式形成, 原自然地面标高为  $-4.6 \sim -0.79$  m, 场地吹填后将形成  $5 \sim 9.0$  m 厚的回填土层。根据有关

资料及勘察揭露, 场地内覆盖层主要由第三系和第四系地层构成, 在勘察深度范围内主要为第四系海相地层(上覆填土层), 根据其时代成因、岩性及物理力学性质, 自上而下分为 12 层, 上部①层吹填土层以及原海床下一定深度范围内的②层细砂物理力学性质较差, 存在地震液化、承载能力差的问题。主要上部土层简述如下:

①吹填砂( $Q_4^m$ ): 浅灰~灰褐色, 稍湿~饱和, 一般松散, 成分较单一, 主要为细砂, 颗粒级配差, 矿物成分以石英、长石为主, 含云母、贝壳碎片, 砂质较均匀, 为新近吹填海砂;

②细砂( $Q_4^m$ ): 浅灰~灰褐色, 饱和, 稍密~中密, 矿物成分以石英、长石为主, 分选性较好, 含云母、贝壳碎片。

设计采用高能级强夯法进行地基加固处理, 强夯能级分别为 12000 和 8000 kN·m 两种, 处理后的地基承载力分别达到 250 和 200 kPa, 并且消除回填

收稿日期: 2010-06-22

作者简介: 王文鹏(1978-), 男(汉族), 河北吴桥人, 北京振冲工程股份有限公司工程师, 岩土工程专业, 从事岩土工程施工的技术管理及项目管理工作, 北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦 12 层, wangpwcx@163.com。

砂层以及②层细砂的的液化。在正式施工前需对各能级强夯进行试夯,从而最终确定强夯施工的具体施工参数。

试夯区域Ⅰ:采用12000 kN·m夯击能;布点方式:正方形布置,中心插点。施工参数见表1。

| 表1 12000 kN·m夯击能施工参数表 |      |                            |      |      |                         |      |
|-----------------------|------|----------------------------|------|------|-------------------------|------|
| 强夯方式                  | 强夯遍数 | 强夯能级/(kN·m <sup>-1</sup> ) | 锤重/t | 落距/m | 布点形式                    | 击/点  |
| 点夯                    | 第一遍  | 12000                      | 60   | 20   | 10 m×10 m正方形            | 8~10 |
|                       | 第二遍  | 12000                      | 60   | 20   | 中心插点                    | 8~10 |
|                       | 第三遍  | 6000                       | 60   | 10   | 10 m×10 m正方形,第一遍夯点连线中心处 | 6~8  |
| 满夯                    | 第四遍  | 2000                       | 12   | 16.7 | 锤印搭接1/5                 | 3    |

试夯区域Ⅱ:采用8000 kN·m夯击能;布点方式:正方形布置,中心插点。施工参数见表2。

| 表2 8000 kN·m夯击能强夯施工参数表 |      |                            |      |      |                       |     |
|------------------------|------|----------------------------|------|------|-----------------------|-----|
| 强夯方式                   | 强夯遍数 | 强夯能级/(kN·m <sup>-1</sup> ) | 锤重/t | 落距/m | 布点形式                  | 击/点 |
| 点夯                     | 第一遍  | 8000                       | 40   | 20   | 8 m×8 m正方形            | 8   |
|                        | 第二遍  | 8000                       | 40   | 20   | 中心插点                  | 8   |
|                        | 第三遍  | 4000                       | 40   | 10   | 8 m×8 m正方形,第一遍夯点连线中心处 | 8   |
| 满夯                     | 第四遍  | 2000                       | 12   | 16.7 | 锤印搭接1/5               | 3   |

在地基处理区域南侧外有一道永久防浪堤,海堤工程的地震设防等级为7度设防。考虑到强夯施工时会对场区的防浪堤产生一定的破坏,因此按设计要求,在强夯试验施工过程中应进行必要的测试工作,从而确定强夯施工的安全距离,以避免强夯施工对已建海堤产生不利影响。海堤与地基处理区域的相对位置见图1。

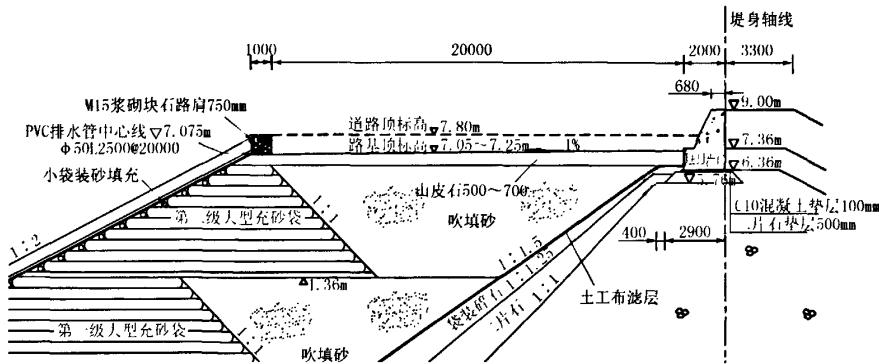


图1 海堤与地基处理区域的相对位置图

3 振动衰减测试目的、内容及主要工作量

测试目的是通过监测强夯时沿不同距离的地面水平加速度,确定强夯影响范围,评价强夯施工对已建海堤及其他既有建筑、构筑物的安全距离,为强夯施工提供参数。

工作量布置:在指定试夯区域布置4组12000 kN·m夯击能,4组8000 kN·m夯击能的强夯振动监测工作(每组分别进行水平径向、水平切向、垂直向振动加速度的测试)和1组海堤强夯振动观测点。测区及测点位置详见图2。

4 振动加速度测量方法

本工程采用振动衰减测试方法,即在距夯点沿射线方向不同距离安置振动传感器以接受振动信号,考虑到本工程的夯击能为12000和8000 kN·m,在距夯点水平距离10、20、40、60、80、100 m位置

布置振动监测点,考虑到监测数据的完整性,本工程分别进行了垂向、水平径向、水平切向3个方向的振动监测工作。通过对采集到的振动信号进行时域、频域及微分处理,绘出各测点实测强夯振动加速度时程曲线及频谱曲线,在此基础上绘制地面最大加速度振幅随夯点距离变化的曲线,按当地地震烈度设防确定相应的安全距离。

测试(试验)投入的主要仪器、机械设备:RSM-24FD浮点工程动测仪1套;CD-21水平、垂直速度传感器各3只。

5 强夯振动地面加速度测试结果

各组实测强夯振动加速度时程曲线及频谱曲线见图3和图4(限于篇幅关系,每个能级试验只选取一个点)。

需指出,强夯时由于夯点下土的密实程度不同,夯锤与地面的接触方式存在一定差异,因而每次落

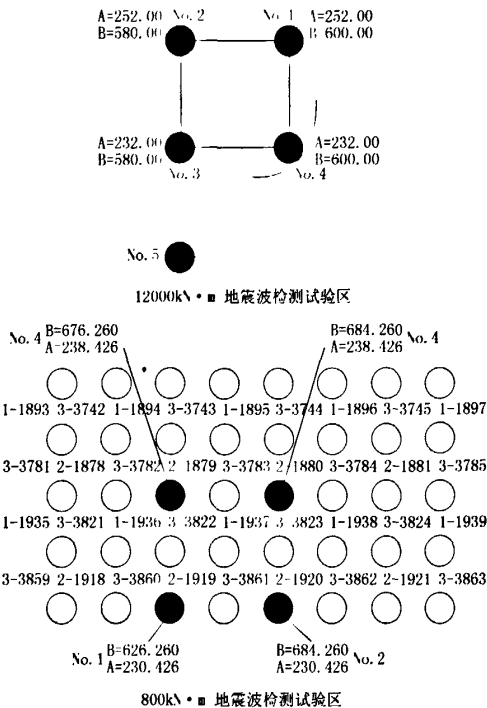


图2 12000和8000 kN·m强夯振动测试平面布置图

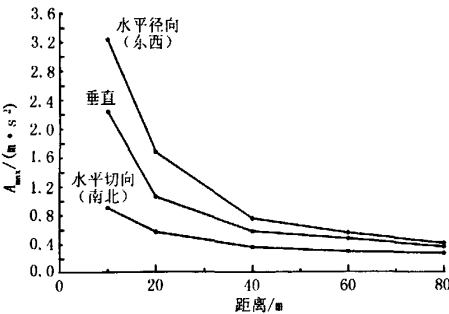


图3 8000 kN·m 测试成果曲线图

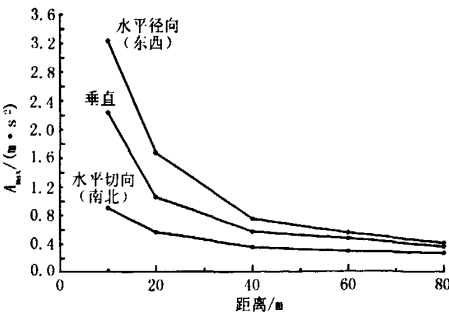


图4 12000 kN·m 测试成果曲线图

锤观测到的振动效果也存在一定差异。考虑到海堤的安全,地面振动加速度分析时选用重复测试数据中的最大值。根据实测及分析结果,绘制强夯振动加速度与夯点至测试点距离关系曲线。

实测结果汇总于表3~6。

表3 强夯(8000 kN·m)振动地面加速度测试结果汇总表

| 测点    | 地面振动分量<br>$A_{max}/(m \cdot s^{-2})$ | 观测点与强夯点水平距离/m  |                |                |                |                |
|-------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|       |                                      | 10             | 20             | 40             | 60             | 80             |
| No. 1 | 垂直                                   | 2.13<br>(0.22) | 1.13<br>(0.12) | 0.55<br>(0.06) | 0.45<br>(0.05) | 0.40<br>(0.04) |
|       | 水平径向                                 | 2.92<br>(0.30) | 1.61<br>(0.16) | 0.66<br>(0.07) | 0.55<br>(0.06) | 0.47<br>(0.05) |
|       | 水平切向                                 | 1.13<br>(0.12) | 0.58<br>(0.06) | 0.43<br>(0.04) | 0.39<br>(0.04) | 0.36<br>(0.04) |
| No. 2 | 垂直                                   | 2.23<br>(0.23) | 1.35<br>(0.14) | 0.80<br>(0.08) | 0.70<br>(0.07) | 0.62<br>(0.06) |
|       | 水平径向                                 | 3.39<br>(0.35) | 1.96<br>(0.20) | 0.95<br>(0.10) | 0.80<br>(0.08) | 0.75<br>(0.08) |
|       | 水平切向                                 | 1.16<br>(0.12) | 0.82<br>(0.08) | 0.66<br>(0.07) | 0.55<br>(0.06) | 0.52<br>(0.05) |
| No. 3 | 垂直                                   | 2.35<br>(0.24) | 1.37<br>(0.14) | 0.68<br>(0.07) | 0.57<br>(0.06) | 0.52<br>(0.05) |
|       | 水平径向                                 | 3.32<br>(0.34) | 1.78<br>(0.18) | 0.80<br>(0.08) | 0.71<br>(0.07) | 0.58<br>(0.06) |
|       | 水平切向                                 | 0.98<br>(0.10) | 0.63<br>(0.06) | 0.43<br>(0.04) | 0.40<br>(0.04) | 0.36<br>(0.04) |
| No. 4 | 垂直                                   | 1.85<br>(0.19) | 1.27<br>(0.13) | 0.71<br>(0.07) | 0.61<br>(0.06) | 0.54<br>(0.06) |
|       | 水平径向                                 | 2.95<br>(0.30) | 1.81<br>(0.18) | 0.86<br>(0.09) | 0.66<br>(0.07) | 0.60<br>(0.06) |
|       | 水平切向                                 | 1.12<br>(0.11) | 0.76<br>(0.08) | 0.46<br>(0.05) | 0.40<br>(0.04) | 0.35<br>(0.04) |

注:(1)括号内的数值为重力加速度值;(2)强夯振动观测点根据现场条件均沿东西向布置;(3)根据现场条件,水平径向取东西方向,水平切向取南北方向。

表4 强夯(8000 kN·m)振动峰值频率测试结果汇总表

| 测点    | 强夯振动峰值<br>频率 $F_{max}/Hz$ | 观测点与强夯点水平距离/m |       |       |       |       |
|-------|---------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|       |                           | 10            | 20    | 40    | 60    | 80    |
| No. 1 | 垂直                        | 12.28         | 9.30  | 9.67  | 11.43 | 11.36 |
|       | 水平径向                      | 12.05         | 14.02 | 10.86 | 12.13 | 10.54 |
|       | 水平切向                      | 11.52         | 10.71 | 14.35 | 12.35 | 13.10 |
| No. 2 | 垂直                        | 11.72         | 11.56 | 12.20 | 9.30  | 9.73  |
|       | 水平径向                      | 12.52         | 11.47 | 12.56 | 8.80  | 12.70 |
|       | 水平切向                      | 8.82          | 9.74  | 9.83  | 11.72 | 10.74 |
| No. 3 | 垂直                        | 7.81          | 12.65 | 11.72 | 14.04 | 11.72 |
|       | 水平径向                      | 8.30          | 9.97  | 10.25 | 13.67 | 11.23 |
|       | 水平切向                      | 5.86          | 9.28  | 11.70 | 12.22 | 14.65 |
| No. 4 | 垂直                        | 13.65         | 9.77  | 9.55  | 8.80  | 11.72 |
|       | 水平径向                      | 12.70         | 11.23 | 11.72 | 11.23 | 8.30  |
|       | 水平切向                      | 10.74         | 9.80  | 12.70 | 10.74 | 11.72 |

从各组测试结果看出,在距夯点相同距离处,水平径向加速度值最大,垂直加速度值次之,水平切向加速度值最小,因此按最不利因素考虑可用水平径向加速度值确定强夯的安全距离。

7 结论与建议

根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001),

表5 强夯(12000 kN·m)振动地面加速度测试结果汇总表

| 测点   | 地面振动分量<br>$A_{\max}/(m \cdot s^{-2})$ | 观测点与强夯点水平距离/m  |                |                |                |                |     |
|------|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
|      |                                       | 10             | 20             | 40             | 60             | 80             | 100 |
| No.1 | 垂直                                    | 2.24<br>(0.23) | 1.06<br>(0.11) | 0.58<br>(0.06) | 0.48<br>(0.05) | 0.37<br>(0.04) |     |
|      | 水平径向                                  | 3.24<br>(0.33) | 1.68<br>(0.17) | 0.76<br>(0.08) | 0.56<br>(0.06) | 0.42<br>(0.04) |     |
|      | 水平切向                                  | 0.91<br>(0.09) | 0.57<br>(0.06) | 0.36<br>(0.04) | 0.30<br>(0.03) | 0.28<br>(0.03) |     |
|      |                                       |                |                |                |                |                |     |
| No.2 | 垂直                                    | 1.41<br>(0.14) | 0.74<br>(0.08) | 0.49<br>(0.05) | 0.46<br>(0.05) | 0.45<br>(0.05) |     |
|      | 水平径向                                  | 2.02<br>(0.21) | 1.04<br>(0.11) | 0.71<br>(0.07) | 0.62<br>(0.06) | 0.59<br>(0.06) |     |
|      | 水平切向                                  | 0.57<br>(0.06) | 0.33<br>(0.03) | 0.28<br>(0.03) | 0.26<br>(0.03) | 0.24<br>(0.02) |     |
|      |                                       |                |                |                |                |                |     |
| No.3 | 垂直                                    | 2.13<br>(0.22) | 1.21<br>(0.12) | 0.65<br>(0.07) | 0.48<br>(0.05) | 0.43<br>(0.04) |     |
|      | 水平径向                                  | 3.55<br>(0.36) | 1.83<br>(0.19) | 0.92<br>(0.09) | 0.63<br>(0.06) | 0.55<br>(0.06) |     |
|      | 水平切向                                  | 1.02<br>(0.10) | 0.47<br>(0.05) | 0.35<br>(0.04) | 0.32<br>(0.03) | 0.31<br>(0.03) |     |
|      |                                       |                |                |                |                |                |     |
| No.4 | 垂直                                    | 2.41<br>(0.25) | 1.35<br>(0.14) | 0.56<br>(0.06) | 0.45<br>(0.05) | 0.43<br>(0.04) |     |
|      | 水平径向                                  | 3.35<br>(0.34) | 1.71<br>(0.17) | 0.74<br>(0.08) | 0.52<br>(0.05) | 0.48<br>(0.05) |     |
|      | 水平切向                                  | 1.01<br>(0.10) | 0.52<br>(0.05) | 0.43<br>(0.04) | 0.34<br>(0.03) | 0.31<br>(0.03) |     |
|      |                                       |                |                |                |                |                |     |
| No.5 | 垂直                                    |                |                | 0.98(0.10)     |                |                |     |
|      | 水平径向                                  |                |                | 1.31(0.13)     |                |                |     |
|      | 水平切向                                  |                |                | 0.42(0.40)     |                |                |     |

注:(1)括号内的数值为重力加速度值;(2)强夯振动观测点根据现场条件均沿东西向布置;(3)海堤上布置的No.5观测点距No.3夯点水平距离约为31 m;(4)根据现场条件,水平径向取东西方向,水平切向取南北方向。

表6 强夯(12000 kN·m)振动峰值频率测试结果汇总表

| 测点   | 强夯振动峰值<br>频率 $f_{\max}/Hz$ | 观测点与强夯点水平距离/m |       |       |       |       |       |
|------|----------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |                            | 10            | 20    | 40    | 60    | 80    | 100   |
| No.1 | 垂直                         | 15.63         | 12.70 | 10.74 | 14.65 | 9.77  |       |
|      | 水平径向                       | 5.86          | 9.77  | 12.70 | 12.70 | 14.65 |       |
|      | 水平切向                       | 11.72         | 10.74 | 14.65 | 12.70 | 13.67 |       |
| No.2 | 垂直                         |               | 12.70 | 11.72 | 11.72 | 10.74 | 7.81  |
|      | 水平径向                       |               | 10.74 | 10.74 | 11.72 | 10.48 | 12.90 |
|      | 水平切向                       |               | 7.81  | 8.79  | 11.72 | 9.77  | 12.70 |
| No.3 | 垂直                         | 11.72         | 14.65 | 9.77  | 12.70 | 10.74 |       |
|      | 水平径向                       | 12.70         | 14.65 | 9.77  | 11.72 | 11.72 |       |
|      | 水平切向                       | 11.72         | 10.74 | 14.65 | 12.70 | 13.67 |       |
| No.4 | 垂直                         | 12.70         | 13.67 | 10.74 | 14.65 | 11.72 |       |
|      | 水平径向                       | 5.86          | 9.77  | 12.70 | 12.70 | 14.65 |       |
|      | 水平切向                       | 11.72         | 11.72 | 11.72 | 8.97  | 12.70 |       |
| No.5 | 垂直                         |               |       | 8.79  |       |       |       |
|      | 水平径向                       |               |       | 11.72 |       |       |       |
|      | 水平切向                       |               |       | 12.70 |       |       |       |

本场地抗震设防烈度为7度,设计地震基本加速度为0.15g,当实测强夯振动地面加速度值<0.15g时,夯点距测点的水平距离可视为对建筑物影响的安全距离。

(1)通过对4组8000kN·m夯击能的强夯振动监测分析确定其安全距离分别为22.3、29.1、25.7、26.5 m,对结果进行综合分析,确定强夯振动影响的安全距离分别为:抗震设防烈度为7度时29.1 m;

(2)通过对4组12000 kN·m夯击能的强夯振动监测结果进行综合分析,确定强夯振动影响的安全距离为31.2 m(场地抗震设防烈度为7度,设计地震基本加速度为0.15g);

(3)海堤上布置的No.5观测点观测到的最大水平径向加速度值为1.31 m/s<sup>2</sup>,在No.3位置处(距No.5观测点约31 m,为进行强夯施工的最不利条件)12000 kN·m强夯施工不会对海堤造成破坏;

(4)若需在强夯安全影响范围内进行强夯施工,建议在施工区域与海堤之间设置隔振沟以降低强夯对海堤的影响。

参考文献:

[1] GB 5007-2002,建筑地基基础设计规范[S].  
[2] 林宗元.岩土工程试验监测手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.  
[3] GB 50011-2001,建筑抗震设计规范[S].  
[4] 陈昌富,李树伟,张晓欣.某试验区吹填软基处理工程监测数据分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):46-49.  
[5] 王雪峰,吴世明.基桩动测技术[M].北京:科学出版社,2001.

青海诞生首个亿吨级铁矿区

《中国国土资源报》2010-12-02 消息 近日,青海省有色地质勘查局在海西州格尔木市尕斯库勒地区新发现矿体5条,走向长约200 m,倾向长100~450 m,低缓地磁异常检查钻孔中发现视厚度共计217.36 m的铁矿,铁矿体平均厚度为4.66~11.35 m,铁平均品位43.16%,新增铁矿石资源量6292.14万t。该矿区铁矿石资源量有望累计达到1.7亿t,结束了青海省没有亿吨级铁矿的历史。

尕斯库勒矿区资源量的探明,是近年来青海省找矿工作的重大突破,能够有效缓解柴达木循环经济试验区铁矿石供应紧张局面和铁矿开发后备资源不足的问题,对青海省钢铁产业发展将起到重要的资源支撑和保障作用。