

强夯施工地震效应测试与分析

任锡泰

(山东省地震局, 山东 济南 250014)

摘要: 对强夯法地基加固提出了其地震效应的观测与分析方法, 并得出对邻近建筑物的影响估计, 可为该类施工工艺的方案设计提供借鉴.

关键词: 强夯; 地震效应; 测试; 分析

中图分类号: TU435 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)04-0352-04

0 前言

强夯法是目前常用的软土地基处理技术, 其原理是利用夯锤重力下落的动能将地基夯密, 提高地基强度、消除湿陷性或液化因素. 由于强夯是锤击运动, 落锤激发的地震波对周围一定范围内的建筑物的安全造成不利影响. 因此, 开展强夯施工的振动特性研究对加强强夯法的理论研究, 提高施工效率和保障邻近建筑物安全具有重要意义.

从工业设备工程设计的角度分析, 强夯施工属自由落锤, 但被夯击的对象又不同于一般落锤基础. 首先强夯直接与地基接触, 而地基的土体重量很难确定. 其次夯锤打击地面导致土体产生较大的变形, 这种变形比普通基础下沉要大得多, 因变形而吸收的能量也是难以定量的参数. 鉴于以上原因, 用理论计算的方法确定夯击处的振动特征十分困难, 而利用现场测试的方法是一种可行的研究途径.

1 强夯振动的安全判据

地面振动对建筑物的影响从机理上分析, 是建筑物地基土在地震波形成的动荷作用下抗剪强度减小. 当动荷达到一定强度时, 建筑物的基础会产生不均匀沉降, 导致建筑物的破坏. 工程振动地震效应的检测, 通常是选择振动加速度、振动速度或振动位移作为测试参量. 为保障建筑物的安全, 在施工中对该参量的数值加以控制. 为了探讨强夯施工对附近建筑的地震效应, 本文以振动加速度为测试参量. 国内外相关资料表明, 对于大多数土壤(地基土)来说, 如果柱基振动小于 $0.1 \sim 0.2 \text{ g}$, 则建筑物的不均匀沉陷基本上不会发生^[1], 因此上部结构是安全的. 故本文以是否超过 0.2 g 作为对该建筑物有无影响的判据.

2 实测情况

实测地点选在济南市舜耕路东侧、金鸡岭西侧施工场地, 其附近有一多层厂房作为影响检测对象.

2.1 锤击规模

锤重 10 t, 落距 10 m, 每夯点锤击数 12 击.

2.2 场地的地质条件

场地地质剖面描述如下:

- ① 湿陷性黄土(一级非自重湿陷性大孔土), 厚度 4 m 左右.
- ② 亚粘土, 厚度 6 m 以上.
- ③ 在①~②层间夹卵石层, 最厚处 1 m. 落锤点在无卵石及卵石层较薄处.
- ④ 以下为粘土.

2.3 测试仪器

测试仪器一组为 65 型拾震器+GZ-2 型测振仪+JH-2 型磁带记录仪; 另一组为 RPS1-66 型拾震器+DR-200 型数字地震数据采集系统. 系统通频带为 1~80 Hz 赫兹.

2.4 测点布置

- ① 室外地面观测: 共 6 个测点, 距夯点距离分别为 10 m、15 m、20 m、30 m 和 40 m.
- ② 楼内观测: 距夯点 20 m, 在一、三、五层地面设置三个测点.

3 数据处理

3.1 波形分析

用波形分析法确定各测点的最大加速度值和振动持续时间. 图 1、2 为典型实测记录波形. 表 1、2 分别为室外地面及楼内振动加速度值.

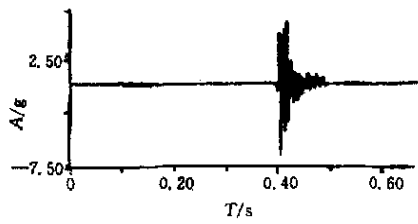


图 1 测点 1 处垂直向记录波形

Fig. 1 The vertical component of record wave at point 1.

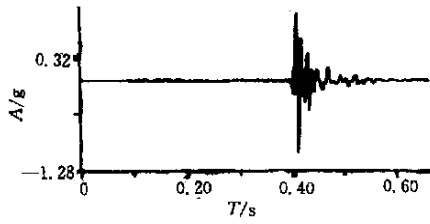


图 2 测点 3 处水平向记录波形

Fig. 2 The horizontal component of record wave at point 3.

表 1 地面振动加速度值(最大值)

分量	测点					
	10 m	15 m	20 m	30 m	40 m	50 m
垂直向	0.56 g	0.25 g	0.11 g	0.04 g	0.015 g	< 0.01 g
水平向	0.57 g	0.27 g	0.12 g	0.07 g	0.015 g	0.01 g

表 2 建筑物内振动加速度值

加速度	一层	三层	五层
最大值	0.047 g	0.060 g	0.069 g
最小值	0.040 g	0.045 g	0.067 g
平均值	0.044 g	0.053 g	0.068 g

根据记录的振动时程曲线, 取最大振幅的 $\frac{1}{3}$ 为主振动持续时间边界值; 取最大振幅的 $\frac{1}{10}$ 为

全振动持续时间边界值. 表3为室外地面测点1和测点3的振动持续时间.

表3 室外地面振动持续时间

		测点1		测点3	
		水平向	垂直向	水平向	垂直向
主振动	第八击	0.2	0.1	0.16	0.16
	第十二击	0.19	0.16	0.16	0.15
全振动	第八击	0.28	0.22	0.68	0.50
	第十二击	0.32	0.24	0.60	0.46

3.2 频谱分析

强夯地震波是持续时间较短的瞬态波形,用傅氏积分进行全波形频谱分析,可以认为没有泄漏效应;按采样定理选取合适步长,就可以防止混淆误差^[2].本次采样率取 100 sps. 图3为测点3处(距夯点 20 m)的振幅谱,图4为相应的功率谱.

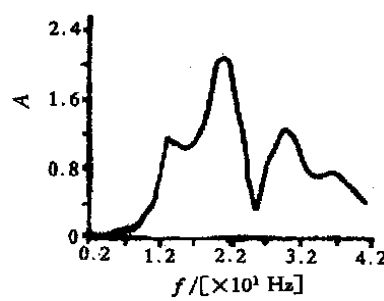


图3 测点3振幅谱

Fig.3 Amplitude wave of vibration at point 3.

根据频谱图,取半功率点以上频率集合,即为主频域,最大振幅对应频率为主频率.可知距夯点 20 m 处夯击地震波的主频域为 18~23 Hz,主频率为 20 Hz 左右.

3.3 用数理统计方法拟合振动衰减公式

用最小二乘法,对观测数据进行拟合^[3],得到下列公式,可为本次或同类条件的强夯施工确定安全距离提供重要参考

$$A_{\text{垂直}} = 2.54 / R^{2.59}$$
$$A_{\text{水平}} = 2.54 / R^{2.56}$$

(1)

$A_{\text{垂直}}$ 、 $A_{\text{水平}}$ 为垂直向、水平向振动加速度值(g); R 为与夯点的距离(m). 相关系数分别为 $\gamma_{\text{垂直}} = 0.99$; $\gamma_{\text{水平}} = 0.98$.

4 测试结果分析

4.1 强夯振动安全距离的估计

如前所述,当建筑物附近地面振动加速度小于等于 0.2 g 时,对建筑物不会产生影响.根据拟合公式(1),以 0.2 g 为安全判据可计算出安全距离分别为 15.2 m 和 16.7 m;为确保建筑物完好无损,本工程安全距离定为 20 m.由实际观测数据可知,在距夯点 20 m 处的振动加速度最大值为 0.11 g 和 0.12 g,因此以 0.2 g 作为安全判据,分别具有 1.8 和 1.67 的安全系数.

4.2 振动叠加与共振效应分析

根据强夯施工流程,每个夯点需连续夯击 12 击,每两次夯击时间间隔以“分”计.而地震波形分析结果,其持续时间小于 1 s,因此不会出现地震波叠加现象.另外根据夯击地震波频谱分析,频率范围在 18~33 Hz 之间,远离建筑物自振频率,无共振危险.由此可以得出以下结论:在本次测试场地地质条件下进行 100T—M 强夯施工,所产生的地震动对距 20 m 以外建筑物寿命和承载力无影响,且具有较大的安全储备.

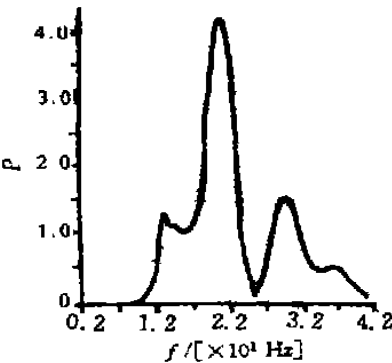


图4 测点3功率谱

Fig.4 Power wave at point 3.

4.3 建筑物动力响应分析

距夯击点 20 m 处建筑物楼内一层地面加速度测试结果为 0.044 g; 而室外地面 20 m 处的振动加速度为 0.12 g, 折减系数为 0.37. 工程界认为, 由于荷重关系的折减系数在 0.3 ~0.6 之间, 本次测试结果在该范围之内.

从楼内各层测试结果看, 一、三、五层的振动加速度为 0.047 g、0.060 g 和 0.069 g, 符合振动折减系数随垂直荷重的减少而减小的规律和建筑物基本振型特征.

5 结语

对强夯振动进行实测, 是目前研究强夯地震效应比较实用的方法. 但是强夯地震效应涉及强夯规模(夯击能量)、场地地质条件(地震波传播介质)及建构筑物自身的动力特性, 因此一次测试结果的推广使用有较大的局限性. 针对上述几个主要因素, 多次积累实测资料, 将对强夯施工的理论研究与工程实践具有重要作用.

[参考文献]

[1] 杨学山. 工程振动测量仪器和测试技术[M] . 北京: 中国计量出版社, 2001.
[2] 应怀樵. 波形和频谱分析与随机数据处理[M] . 北京: 中国铁道出版社, 1985.
[3] 林纪曾. 观测数据的数学处理[M] . 北京: 地震出版社, 1983.

EXAMINATION AND ANALYSIS ON THE EARTHQUAKE-EFFECT OF
DYNAMIC-COMPACTION CONSTRUCTION

REN Xi-tai

(*Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China*)

Abstract: The methods of examination and analysis for earthquake-effect of dynamic-compaction to construction are presented, and the estimation of the effect on the adjacent building is obtained. It provides reference to designing of such construction.

Key words: Dynamic-compaction; Earthquake-effect; Examination; Analysis