

强夯振动对周围建筑物的影响

张兴虎

(西安建筑科技大学建工系, 西安, 710055; 男, 40 岁, 工程师)

摘要 结合工程实例研究分析了强夯振动对周围建筑物的影响, 并提出了夯点距建筑物的最小距离和减振方法。

关键词 强夯; 振动; 减振; 加速度

中图分类号 TU 435

The influence of heavy—tamping related vibrations on nearby buildings

Zhang Xinghu

(Dept. of Cons. Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an, 710055)

Abstract In combination with practical engineering cases the paper analyses the influence of vibration caused by heavy tamping on nearby buildings. The minimum distance between heavy tamping piont and nearby building and vibration reduction methods are proposed.

Key words heavy tamping, vibration, vibration reduction, acceleration

1 概述

强夯法是一种新的地基处理方法, 系用起吊设备将 80kN 以上的夯锤提升到 8m 以上的高度, 借夯锤自由下落的强大冲击能和所产生的冲击波反复夯击地基, 将夯面下一定深度的土层挤压密实, 从而降低土的压缩性, 提高承载力, 使地基土得以加固处理。

然而, 强夯会引起地面振动, 随着振动能量的扩散, 对施工场地周围的建筑物和人身健康都会有一定影响, 特别对施工场地狭窄, 夯点距建筑物很近的情况下影响更为严重。我国规定振动加速度不得超过 $0.1g$, 为此, 需进行地面振动波衰减特性的研究与测试, 并探讨减小振动影响的方法。

2 强夯测振方法与机具选择

某地一工厂住宅区 25E 地基地层结构由第四纪人工填土, 冲洪积砾沙—圆砾及第三纪粉质粘土构成, 根据场地地质构造情况, 按建筑设计要求, 需对地基进行强夯处理, 改善其抵

抗振动液化的能力和消除土的湿陷性，使场地强夯后地基承载力标准值提高到 200kPa 以上。

2.1 测点布置

使用 65 型地震仪作为传感仪器，该仪器频率范围 0.3~80Hz，灵敏度高。记录仪器采用 SONY 八通道磁带记录仪，其频响范围 0~10kHz，信噪比>65dB。分析仪器使用 7T17S 信号处理机（日本三荣公司出品）。测试及分析仪器框图如图 1 所示。测点布置如图 2 所示，I—I 线为没有减振沟时的测点布置；II—II 线为设有减振沟时的测点布置，地震仪摆动方向均与面波传播方向一致，因地面振动主要以面波为主，地震仪均布置在预埋的混凝土桩上。II—II 测试线剖面图见图 3。

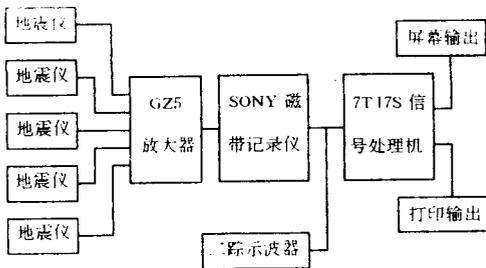


图 1 测试及分析仪器框图

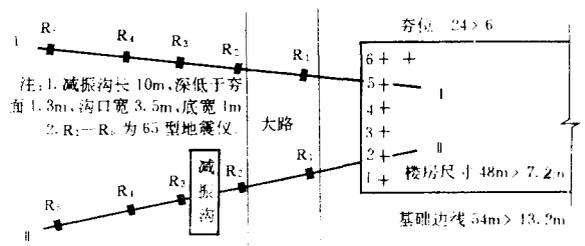


图 2 25E 地基强夯测点布置

2.2 强夯方法

根据强夯方案设计，选用 100kN 装配式钢制夯锤（带截头圆锥体），直径 2.2m；选用起重能力为 150kN 的 W1-100 型履带吊车；采用 1000kN·m 级 10 击，落距 10m，分两遍进行，每遍 5 击，第一遍间隔夯击，第二遍连续夯击，两遍之间间隔 5 d；场地强夯后地基承载力标准值应提高到 200kPa 以上。

2.3 最佳夯击数 N_Y 的确定

地基土在夯锤的强力夯击下，产生很大的沉降量。图 4 为夯点 2 试夯 10 击的夯沉量与夯击数的关系曲线，由图看出随着夯击数增加，地基的夯沉量不断加大（图 4 (a)），地基土的密度也不断提高。

地基的夯沉量与夯击能量及土质有关，夯击能量高，夯沉量大；土质松软，夯沉量大。

图 4 (b) 中夯击数 N 与每击夯沉量 ΔS 的关系曲线表明，每击夯沉量 ΔS 随夯击数 N 增加而减小， $\Delta S - N$ 曲线到达特征点 a 后， ΔS 即趋于稳定， ΔS 与 N 的关系呈直线，且与 N 轴平行，其最后三击平均夯沉量等于 $3\text{cm}^{[1]}$ ，所以确定最佳夯击数 $N_Y = 10$ 。

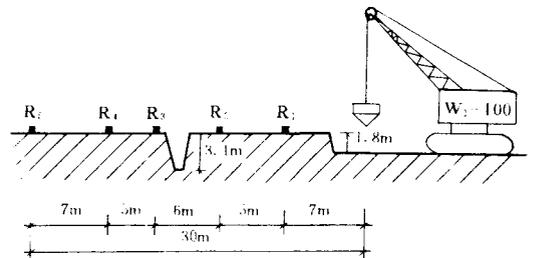


图 3 II—II 测区剖面图

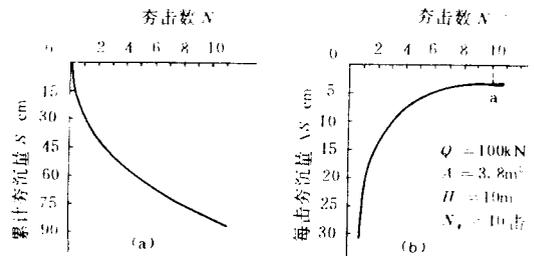


图 4 夯点 2 夯沉量与夯击数关系曲线

3 强夯振动的测试结果及分析

3.1 无减振沟时的影响范围

强夯时，落锤冲击夯面的强大功能，会使周围地基产生不同程度的振动。夯锤的重量 Q 或落距 H 愈大时，振动烈度和波及范围也随之增大。夯锤每击的冲击能 QH 消耗在两个方面：压缩土的孔隙，使土颗粒挤紧增密，产生永久的塑性变形，引起地基土的弹性动波（振动）和产生声能（噪音）。开始第一、二、三击时，夯击功能的大部分消耗于压密土体，每击夯沉量较大，振动较小，随着夯击次数增多，土体不断夯实，进一步压密土体逐渐困难，每击夯沉量逐渐减少，振动烈度随之增强，噪音也逐渐增大，如图5、图6所示。图5、图6分别为无减振沟和有减振沟时距夯点不同距离处地面的水平振幅 A 随夯击次数 N 递增的规律。显然，距夯点愈近，周围地面的振动幅度随击数增多而增长愈大，其减振沟的作用也很明显。

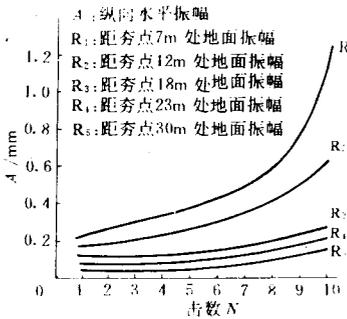


图5 测区 I 各测点振幅与夯击数的关系
($Q = 100\text{kN}, H = 10\text{m}$)

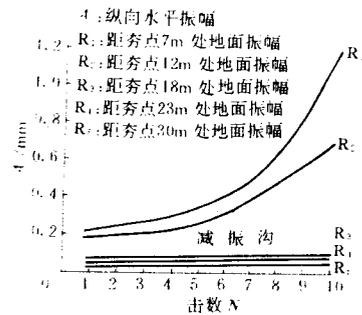


图6 测区 II 各测点振幅与夯击数的关系
($Q = 100\text{kN}, H = 10\text{m}$)

落锤夯击地基土，属冲击型点振源，触发地基土振动后，冲击振源随之消失，随后的振动完全是地基土的有阻尼的自由振动，位移幅值将逐步衰减。由图5、图6看出，最后一击时各测点的振动幅度最大。图7、图8为无减振沟和有减振沟时第十击各测点振幅随距离衰减的 $A-S$ 关系曲线，由两图看出，在有无减振沟的两种情况下，沟内外振幅衰减程度有较大区别，无减振沟时，沟两边测点 R_2, R_3 之间衰减率为62.5%。有减振沟时，测点 R_2, R_3 之间衰减率为86.2%。即减振沟的减振效率为 $86.2\% - 62.5\% = 23.7\%$ 。

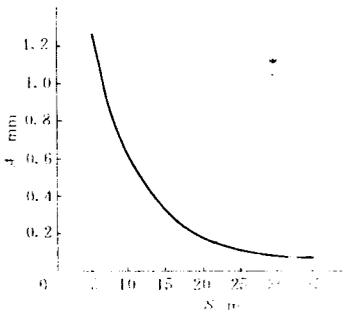


图7 测区 I 第十击振幅随距离衰减的 $A-S$ 关系曲线 (夯点5)
(本测区无减振沟)

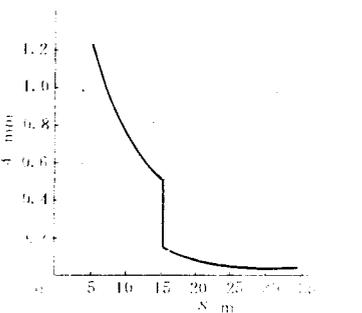


图8 测区 II 第十击振幅随距离衰减的 $A-S$ 关系曲线 (夯点2)
(本测区在12-18m 之间设减振沟)

可见，设置减振沟对减轻强夯振动的影响有很大的作用。当减振沟的深度更深一些时，其

减振效率将更高，但与沟宽大小无关^[2]。

根据现有试验资料分析并经工程实践证明，对于安全距离不足的设备或建筑物，在其与夯点之间设置1~2m深的减振沟，可起到良好的减振作用。

图9为7T17S信号处理机对各测点振动波形所进行的功率谱分析图。由图看出，其主振周期 $T = 0.093s$ ，主振频率 $f = 1/T = 10.75Hz$ 。这个周期远小于一般房屋建筑的自振周期(0.15—2 s)。因此，在采用1000kN·m的强夯施工过程中，不会引起周围房屋的共振现象。

图10为7T17S信号处理机显示的无减振沟时第十击各测点的振动波形图，由图看出，强夯引起地面质点的振动波形，一般为有阻尼的自由振动的正弦波。据理论分析，当阻尼不大时，有阻尼的自振频率与无阻尼的自振频率近似相等^[3]。故可用谐振动中 Z 与 t 的关系式：

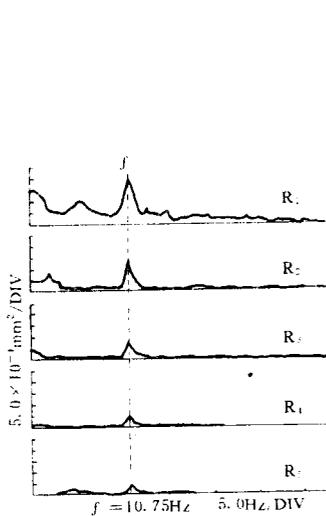


图9 测区 I 各测点功率谱图

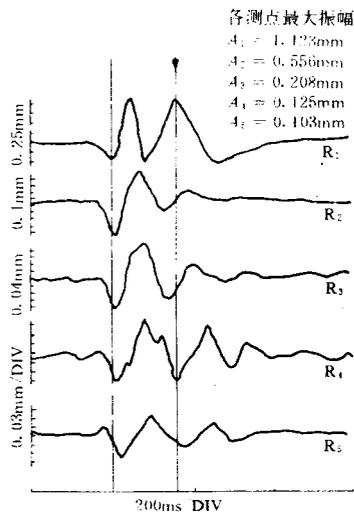


图10 测区 I 各测点振动波形图

$$Z = A \cdot \sin(\omega t - \psi) \tag{1}$$

- 式中 A —最大振幅值。
- ω —圆频率 (rad/s)
- ψ —初相角 $\pi \geq \psi \geq -\pi$

对 (1) 式求二阶导数可得到强夯引起地面振动加速度为

$$\ddot{Z} = -A\omega^2 \sin(\omega t - \psi) \tag{2}$$

$$\text{最大加速度: } \ddot{Z}_{\max} = -A\omega^2 = -(2\pi f)^2 A \tag{3}$$

已知主振率 $f = 10.75Hz$ ，由式 (3) 可求得各测点的地面振动加速度值。表1给出了各测点最大加速度计算值和地震烈度范围^[4]。可见在无减振沟时，距夯点18m以内，相当地震烈度七度以上，而18m以远在七度以下。

3.2 有减振沟时的影响范围

I—I 测区设置了减振沟，同样在第十击时各测点的振幅最大。取第十击时各测点的振幅值进行分析比较。由7T17S信号处理机对各测点波形进行功率谱分析可知，其主振周期仍为 $T = 0.093s$ ，即主振频率为 $f = 10.75Hz$ 。由式 $\ddot{Z}_{\max} = |-(2\pi f)^2 A|$ 计算各测点的最大加速度值以及相应的地震烈度范围^[4]列于表2。由表2看出，在减振沟以内，地震烈度在八度以上，在减

振沟以外,地震烈度在六度以下,可见在减振沟以外属安全区。

表1 测区 I—I 各点测试值

| 与夯点之距 | R ₁ (7m) | R ₂ (12m) | R ₃ (18m) | R ₄ (23m) | R ₅ (30m) |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 最大振幅 A/m | 1.123 | 0.556 | 0.208 | 0.125 | 0.103 |
| 最大加速度 /g | 0.523 | 0.259 | 0.097 | 0.058 | 0.048 |
| 相当地震 烈度 | 9度以上 | 8~9 | 7 | 6~7 | 6 |

表2 测区 I—I 各点测试值

| 与夯点之距 | R ₁ (7m) | R ₂ (12m) | R ₃ (18m) | R ₄ (23m) | R ₅ (30m) |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 最大振幅 A/m | 1.085 | 0.640 | 0.087 | 0.077 | 0.034 |
| 最大加速度 /g | 0.505 | 0.298 | 0.041 | 0.036 | 0.016 |
| 相当地震 烈度 | 9度以上 | 8~9 | 6以下 | | |

3.3 地面水平振幅估算

夯锤冲击地面时,夯点处地基土作竖直振动,所产生之振动波射入土中,并向四周发射,遇到界面(地面)后形成面波。面波随着与夯点距离的增大而逐渐衰减。强夯时,地面的振动主要是由面波引起的,即瑞利波在地面振动中起主导作用。根据测振资料分析计算,其面波衰减后的地面水平振幅可借用高里宁公式计算:

$$A_r = A_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} e^{-K(r-r_0)} \quad (4)$$

式中 A_r —与夯点相距 r (m) 处地面水平振幅 (mm);

A_0 —与夯点相距 r_0 (m, $r_0 < r$) 处地面水平振幅 (mm);

K —土壤能量吸收系数,按地基土类别及强夯功能大小查取。

由于土不是弹性介质,随着土性不同、振动能量大小不同,面波在地表的衰减也会有所不同。因此采用直接测试法比较可靠。

3.4 瑞利波波速 U_R 的测定

面波是局限于半空间自由表面(地面)附近区域内的波,它随着深度的增加而迅速地衰减。强夯只在地表面产生振动,主要是以面波的形式向四周扩散。面波也叫瑞利波。

根据7T17S信号处理机对各测点波形进行时程分析结果知,振动波第一波峰由测点 R_1 处传到 R_4 处所需的时间为0.07 s 即

$$U_R = \frac{23\text{m} - 7\text{m}}{0.07\text{s}} = 229 \text{ m/s}$$

如图11所示。

根据所测地区地质报告描述,该区15m以上场地土的平均剪切波速 U_{sm} 为275m/s,场地土类型属中硬场地土。一般瑞利波的传播速度 U_R 比剪切波 U_{sm} 稍低一些,故所测瑞利波波速 U_R 符合一般规律。

(下转第369页)

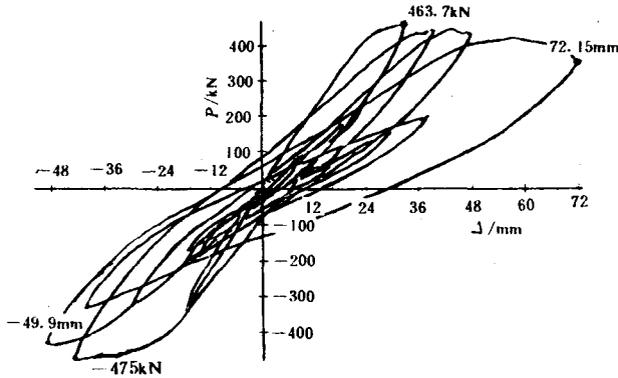


图5 顶层荷载-位移滞回曲线

参 考 文 献

- 1 冈本森等. 抗震研究中的伪动力试验方法. 国外地震工程, 1984 (7)
- 2 赵西安. 用计算机—试验机联机系统进行结构拟动力试验的方法. 建筑科学. 1985 (2)
- 3 朱伯龙. 结构抗震试验. 北京: 地震出版社, 1989
- 4 Takanashi K, et al. seismic failure analysis of structures by computer pulastor on—line system. Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo. 1974, 26 (11)
- 5 郝锐坤等. 底层大空间剪力墙结构十二层模型拟动力试验研究. 建筑科学, 1985 (1)

(上接第363页)

4 结 论

(1) 在无减振沟的情况下, 夯点距建筑物的最小距离为14~18m, 虽然此时与地震烈度七度相当, 但它的危害较小, 因强夯引起的振动作用的时间短, 1s 完成全过程, 而地震6级以上的平均振动时间为30 s.

(2) 对于安全距离不足的设备或建筑物, 在其与夯点之间设置1~2m 深的减振沟, 可起到良好的减振作用, 减振效率可达20%以上. 同时在强夯过程中, 为了防止减振沟由于夯击时振动造成塌方, 最好设临时支撑, 并应随时清除减振沟中被振塌的土方, 以保证减振的有效性.

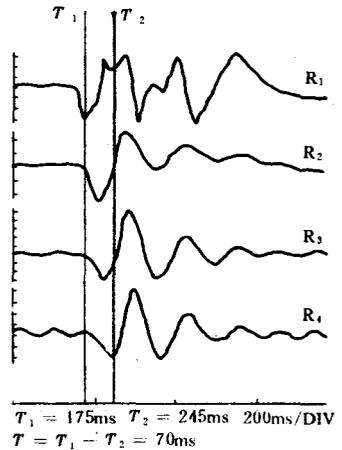


图11 振动波传播时间显示图

参 考 文 献

- 1 曾国熙等. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- 2 师管孝, 姚建勇. 强夯法处理湿陷性黄土地基的研究与应用. 陕西省建筑科学研究设计院, 1986
- 3 [美] F. E. 小理查特等著. 土与基础的振动. 徐攸在等译. 钱鸿缙校. 北京: 中国建筑工业出版社, 1976
- 4 建筑抗震设计规范 GBJ 11—89. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989