

# 基础工程实验指导书

主编 姜蓉

实验课程： 基础工程

适用专业： 土木工程(建筑工程 交通土建工程)

上海应用技术大学

2018年3月

## 前 言

本指导书是为了配合土木工程专业进行基础工程课的教学而编写的实验用书，采用了国家及有关行业的最新规范和规程，并强调指导性和实用性。本指导书含一个试验，即基桩低应变动力检测（反射波法），要求学生熟知这种目前在工程中应用比较广泛的基桩检测方法。限于作者水平，书中不当之处，恳请批评指正。

## 目 录

实验一 基桩低应变动力检测(反射波法).....	(1)
附: 实验报告要求与格式.....	(5)

## 目 录

实验一 基桩低应变动力检测(反射波法).....	(1)
附: 实验报告要求与格式.....	(5)

# 桩基低应变动力检测

## 实验项目基本情况

实验类别：技术基础

实验性质：综合

实验时数：2 学时

### 一. 实验目的和要求

1.通过老师授课及观看演示试验过程，熟知目前在工程中应用比较广泛的低应变动力检测方法——反射波法的原理、方法、用途及优缺点。

2.掌握试验原理及检测方法；学会利用检测结果评价桩身质量、确定桩身缺陷位置和范围、推求桩身混凝土强度。

### 二. 仪器设备

检波器、信号采集处理器（低应变桩基完整性检测仪）、力锤

### 三. 基本原理

如桩身某一部分存在缺陷，如裂缝、变径、夹泥等，桩身就不连续。通常，桩被假定为一维弹性杆件，一旦存在不连续面，弹性波在杆件中就不能顺利传输，在不连续面就会反射与折射，见图 1。由一维弹性杆件中压缩波传播理论可推得不连续面两侧的波阻抗比为

$$a = \frac{u_{p1} A_2 E_2}{u_{p2} A_1 E_1} = \frac{u_{p1} \bar{m}_2}{u_{p2} \bar{m}_1} = \frac{u_{p1} \rho_1}{u_{p2} \rho_2} \quad (1)$$

式中，

$u_{p1}$ 、 $u_{p2}$  ——分别为不连续面上、下段的弹性波波速；

$\rho_1$ 、 $\rho_2$  ——分别为不连续面上、下段的质量密度；

$A_1$ 、 $A_2$  ——分别为不连续面上、下段的杆件截面；

$E_1$ 、 $E_2$  ——分别为不连续面上、下段的弹性模量；

$\bar{m}_1$ 、 $\bar{m}_2$  ——分别为不连续面上、下段的质量。

故  $u_{p1} \rho_1$  及  $u_{p2} \rho_2$  为上、下段的阻抗。当  $a=1$  时，弹性杆连续，无

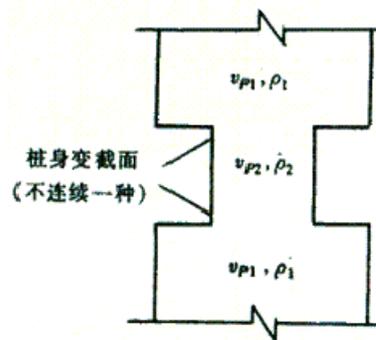


图 1 桩身不连续

突变。然而，截面  $A$  变化（缩、扩颈），或者质量密度  $\rho$  变化（空隙、夹泥等），或者弹性波传播速度  $u_p$  变化（疏松与硬化），都会使  $a$  不为 1，形成不连续面，产生反射。因此， $a$  的变化可归纳成表 1。

表 1 波阻抗比  $a$  随反射波与入射波的相位的变化

波阻抗比 $a$	反射波与入射波的相位	杆的状态
0	同相	杆端为自由端
	反相	杆端为固定端

波阻抗比 $a$	反射波与入射波的相位	杆的状态
$>$	反相	$A_2E_2 / A_1E_1 > 1$ , 扩颈
$<$	同相	$A_2E_2 / A_1E_1 < 1$ , 缩颈

其次，由弹性杆件振动理论，可以得到式（2）及（3）：

$$2f_n L = u_p \quad (\text{两端自由}) \quad (2)$$

$$4f_n L = u_p \quad (\text{一端固定}) \quad (3)$$

式中  $L$ ——桩长；

$f_n$ ——桩的固定频率。

当桩的持力层是土层时，可视作二端自由弹性杆件，只有当桩与新鲜基岩（或微风化）良好胶结时，才可视作一端固定。

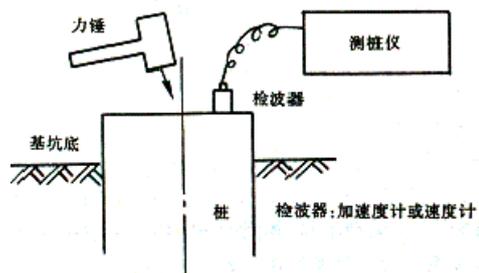


图 2 测桩仪示意图

#### 四. 操作步骤（现场布置与测试）

1. 清理桩头。尤其是灌注桩，必须将上部的浮浆及松散碎屑清理干净，要防止清理过程中或在基坑开挖时损伤桩头。

2. 被测的灌注桩应达到养护龄期。

3. 桩头不平时，应予整平，其面积至少可以放置一个检波器。

4. 检波器与桩头应用石膏、橡皮泥或电磁铁紧密连接。避免用手在桩头上按压检波器，导致各种干扰。

5. 会同设计、监理、施工单位，根据桩位图及预定的百分比确定被测桩头及位置，并加以标识。对混凝土灌注桩桩身完整性时，抽测数不得少于该批桩总数的 20%，且不少于 10 根；对混凝土预制桩，抽测数不少于 10%，且不少于 5 根。抽测不合格数超过抽测数 30% 时，应加倍抽测。被测桩的确定可按随机方法，或参考施工记录，发现有疑问的，或按桩的作用，如角桩、边桩，抽取。也可几种方法结合起来确定。

6. 检波器固定后，检查仪器工作是否处于正常状态，敲击桩头，检查波形的重复性及可鉴别性，调整锤击能量及锤垫，直到一切正常，开始正式测试，激振点宜近中心。

7. 每根桩检测的波形记录不少与 3 条，以备分析。

#### 五. 结果整理（资料分析与整理）

分析资料前，必须收集以下资料：工程地质勘察报告；桩的设计资料；施工中非正常桩的施工记录；桩身混凝土标号检测报告；压桩实验报告（如有）。

1. 检查波形记录的完整性。

2. 按式（2）即可得

$$\frac{2L}{t_r} = u_p \quad (4)$$

式中  $t_r$ ——桩的固有周期，也即桩底反射波到达时间（s）；  
 $L$ ——桩身全长（m）；  
 $u_p$ ——桩身混凝土波速。

如反射波由不连续面（缺陷）反射时，则式（4）可转换成

$$L' = \frac{1}{2} u_{pm} t_r' \quad (5)$$

式中  $L'$ ——缺陷的深度（m）；  
 $t_r'$ ——缺陷反射波到达时间（s）；  
 $u_{pm}$ ——同一工地内多根合格桩桩身  $u_p$  的平均值（m/s）。

由式（4），根据相应的混凝土波速  $u_p$ ，即可得到桩底反射波到达时间。标号越高， $u_p$  越大。由于混凝土的骨料、水泥类型不同，相同标号的混凝土波速  $u_p$  相差比较大。因此，波速与标号之间只是参考关系。常用参考数据如表 2 所列：

表 2 混凝土标号与压缩波波速近似关系

混凝土标号	C <sub>40</sub>	C <sub>35</sub>	C <sub>30</sub>	C <sub>25</sub>	C <sub>20</sub>
混凝土 $u_p$ (m/s)	>4200	>4000	3800	3200	2600

该  $u_p$  与超声波测得的波速值几乎差一等级，因超声波频率高，波形鉴别精度较高。故该参考值不宜用于超声检测。实际使用时，应以现场测试为主。

3. 如波形中有桩底反射波出现，说明该桩未断。如桩底反射波之前无其他反射波出现，说明桩为完整桩。

4. 如在桩底反射波之前，尚有其他反射波出现，说明桩身存在不连续面。该反射波出现越早，说明越进桩头。不连续面的深度可由式（5）求得。每一个反射反映一个不连续面。如几个反射波的时间隔相等，即为一个面的多次反射。

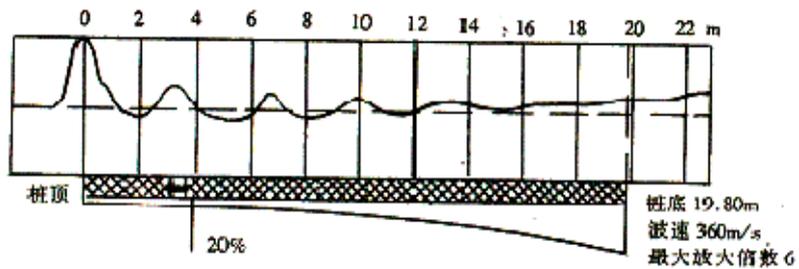
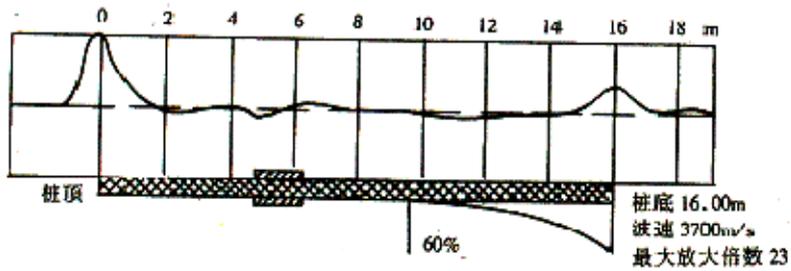
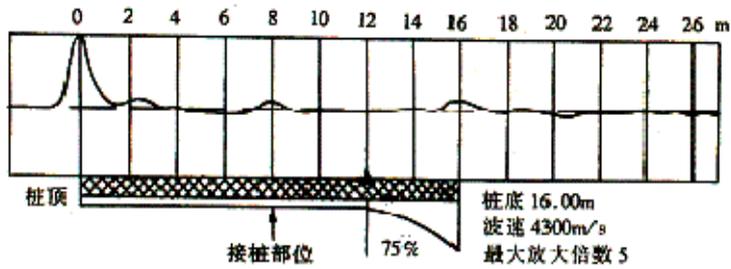
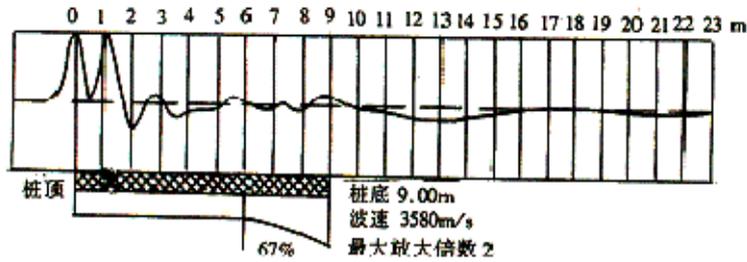
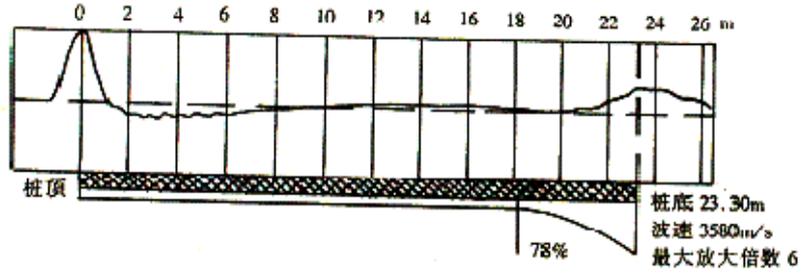
5. 对不连续面必须加以鉴别。如反射波与激发波同相位，即为缺陷（如缩颈、空洞等）；如反相，则是扩颈，详见图 3。判断是否缺陷应结合工程地质资料及施工记录综合分析，如是否在该深度存在缩孔或塌孔的土层、钢筋笼长度及位置、混凝土灌注等。

6. 如反射波出现较早，又无桩底反射，断桩的机率极高，为避免误判，可横向激振，如出现低频振动，即为断桩。

## 六. 实验报告要求

报告中应包含下列内容：1.工程概况；2.地质条件；3.测试方法及设备；4.评价标准；5.分析与结论；6.测试曲线。

附：桩在各种状态时的实测曲线



附录：

### 实验报告要求

1. 认真完成实验报告，报告要用上海应用技术学院实验报告纸，作图要用坐标纸。
2. 报告中的绘图、表格必须使用绘图工具。

### 实验报告格式

1. 学生姓名、学号、实验组号及组内编号；
2. 实验题目；
3. 目的要求；
4. 仪器用具：仪器名称及主要规格（包括量程、分度值等）、用具名称。
5. 实验原理：简单但要抓住要点，即要写出原理依据的公式名称、公式表达式、公式中各物理量的名称、公式成立的条件。
6. 实验内容：应包括主要实验步骤、测量及调节方法、观察到的现象、变化的规律以及相应的解释等。
7. 数据表格：画出数据表格（写明物理量和单位）；
8. 数据处理及结果（结论）：按实验要求处理数据，并写出结论。
9. 讨论：对实验中存在的问题、进一步的想法等进行讨论。
10. 作业题