

文章编号:1001-1986(2003)02-0037-03

# 施工及地质条件对桩基低应变动力反射波曲线的影响

杨光辉<sup>1</sup>,李武强<sup>2</sup> (1.中煤水文地质局,河北邯郸 056004;2.东北煤田地质局,辽宁沈阳 110011)

**摘要:**桩基低应变动力反射波法检测,以其特有的优势在工程中得以广泛应用。本文阐述了施工工艺及地质条件对测试曲线的影响,提出了反射波曲线综合分析的途径与方法。

**关键词:**桩基;反射波;施工及地质条件

**中图分类号:**P135.5 **文献标识码:**A

## 1 引言

桩基工程是地基与基础的一项主要形式。据有关部门统计,我国目前年用桩量达数百万根以上。近十几年的工程实践表明,低应变动力检测反射法作为桩身结构完整性的无损检测,以其时间短、测试方便、费用低、方法相对可靠等优势,在桩基工程中得以广泛应用。

从目前反射波法研究与应用的情况来看,主要存在着如下问题:

- a. 理论上的广义波阻抗方程具有多解性;
- b. 实际波速确定的复杂性;
- c. 测试条件受多种因素(地层岩性、施工工艺、地下水、测试方法等)的干扰;
- d. 关于桩的缺陷程度的差别基本上还是定性的,主要根据缺陷部位或桩底反射信号的强弱进行判别。而判断具体性质必须借助其他条件,特别是施工工艺及地质条件。

由于地质条件、施工机械和施工方法的差异,造成桩身形态及桩体与围岩的接触关系千差万别,与物理模型出入较大,造成反射波复杂,给判别带来一定的困难。规范一般要求结合地质条件和施工工艺来进行综合判别。

## 2 反射波测试的基本原理

反射波测试方法的理论基础是弹性波薄层反射理论,物理模型为一维弹性杆件,且桩身波阻抗远远大于桩周土。其基本原理是,在桩顶施加激振信号产生的应力波在沿桩身传播过程中,遇到桩身存在明显波阻抗差异界面(如桩底、断桩和严重离析、加泥)或桩身截面积变化(如缩径、扩径)时,将产生反射,检测分析反射波的到时、幅值、波形特征及波速,以此来判断桩的完整性、缺陷性质及部位。

其一维弹性波动方程(广义波阻抗方程)为:

$$z = EA/V_c = \rho V_c A; E = \rho V_c^2$$

式中  $z$  为桩的广义波阻抗;  $E$  为桩身弹性模量;

收稿日期:2002-12-03

作者简介:杨光辉(1962—),男,河北省保定市人,中煤水文地质局水工地质高级工程师,主要从事岩土工程勘察及施工。

## 参考文献

- [1] Morshed-Jahangir, Kaluarachchi-Jagath-J. Enhancements to genetic algorithm for optimal ground-water management[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2000, 5(1): 67-73.
- [2] Raman H, Sunilkumar N. Multivariate modeling of water resources time series using artificial neural networks[J]. Hydrological Sciences Journal, 1995, 40(2): 145-163.
- [3] 过仲阳等. 应用动量 BP 算法对地下水水位进行动态预测[J]. 华东师范大学学报, 2000, (3): 79-84.
- [4] 胡铁松, 袁鹏, 丁晶. 人工神经网络在水文水资源中的应用[J]. 水科学进展, 1995, 6(1): 76-82.
- [5] 金菊良, 丁晶, 魏一鸣. 加速遗传算法在地下水位动态分析中的应用[J]. 水文地质工程地质, 1999, (5): 4-7.
- [6] 刘国东, 丁晶. BP 网络用于水文预测的几个问题探讨[J]. 水利学报, 1999, (1): 65-69.
- [7] 温忠辉, 廖资生. 用神经网络模型预测济宁市地下水水位变化规律[J]. 水文地质工程地质, 1999, (5): 14-16.
- [8] 张永波等. 水工环研究的现状与趋势[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [9] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

## Study of parallel prediction of groundwater table by BP neural network

ZHANG Bo, HONG Mei, YANG Bing, WANG Liang-kui, ZHAO Yong-sheng

(Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** This paper proposes a suitable method of prediction of water table of water source field in confined aquifers in porous rocks. This prediction and optimization are done by BP-Genetic Geography cellular automata. The principle of this method is from the framework of geography cellular automata. Every field of water source is regarded as a cell. Scenario of next time of every field of water source is depended on the water source field itself and scenario of last time of the water source in the borderland and behavior of next time of water source in the borderland, as well as environmental conditions in the water source site.

**Key words:** hydrogeological conditions; geography cellular automata; neural network; genetic algorithm

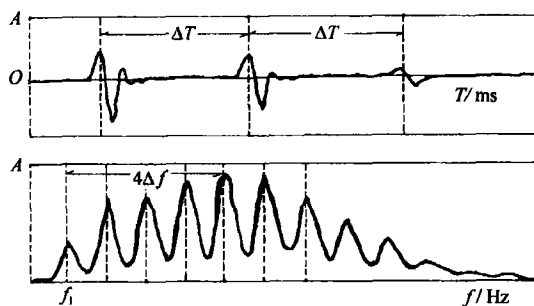


图 1 完整桩时域频域曲线

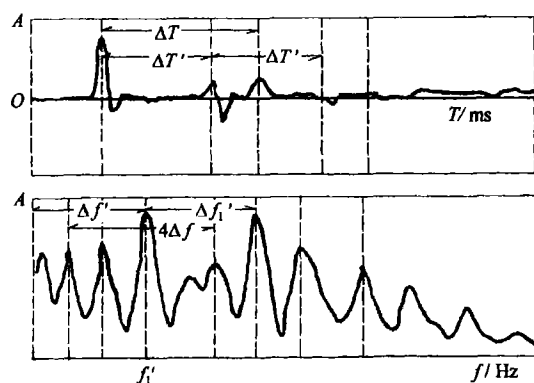


图 2 缺陷桩的时域频域曲线特征图

$V_c$  为桩身弹性纵波波速;  $A$  为桩截面面积;  $\rho$  为桩身质量密度。

当激震波从介质( $z_1$ )传到另一种介质( $z_2$ )中,要产生反射,其反射系数  $A_r = (z_2 - z_1)/(z_1 + z_2)$ 。从式中得出:当  $z_1 > z_2$  时,如桩底入基岩、扩径、桩周地层岩性由软变硬,其反射系数为负,会产生异相反射;当  $z_2 > z_1$  时,如桩周地层由硬变软、摩擦桩桩底、缩径、加泥、砼离析所形成的缺陷界面,反射系数为正;当  $z_2 = z_1$  时,其反射系数为零,即不发生反射,此时只有透射波。由此可见,是否产生反射及反射的强弱是由影响波阻抗的几个因素同时决定的,理论上讲波速介面、密度介面、形态介面并不一定是反射介面。当反射波曲线出现异常时,必须对异常部位进行综合分析,以确定曲线异常的原因,判明桩体“缺陷”性质。

### 3 反射波波形特征及影响因素

#### 3.1 完整桩的波形特征

其特征如图 1。

- 桩底反射特征周期为  $\Delta T$ , 当桩底二次反射明显时, 两次的  $\Delta T$  相等;
- 在频域波形图中, 谱峰排列规律, 相邻峰间隔(即特征频率  $\Delta f$ )基本相等, 且  $\Delta f = 1/\Delta T$ ;
- 时域曲线中, 摩擦桩一般桩底反射与入射波同相位; 嵌岩桩桩底反射与入射波反相位, 且反射

波峰多超前;

- 波速接近该场地反射平均波速( $V_c$ ), 并与桩长( $L$ )关系为:  $V_c \approx 2L/\Delta T \approx 2L\Delta f$ 。

#### 3.2 缺陷桩的波形特征

##### 3.2.1 同向反射的缺陷特征

其特征如图 2。

- 由于缺陷处波程短, 特征频率  $\Delta f' > \Delta f$ ; 特征周期  $\Delta T' > \Delta T$ ;
  - 突变缺陷(如断桩)波型呈“尖峰”, 渐变缺陷波型多“平缓”大波型;
  - 由于能量吸收及干扰, 缺陷桩底反射振幅低于同一条件下完整桩振幅;
  - 缺陷部位:  $L' = \Delta T' V_c / 2 = V_c / (2\Delta f')$ 。
- 其产生的主要原因为断桩、缩径、砼离析等。

##### 3.2.2 异向反射波型特征

- 时域波形及频域波形较规则;
- 扩径部位的反射波与入射波反相位;
- 频域  $\Delta f' > \Delta f$ 。
- 扩径部位:  $L' = \Delta T' V_c / 2 = V_c / (2\Delta f')$ 。

其产生的主要原因为地层原因(如遇松散地层、特别是在与坚硬地层交接处)或施工原因(护壁、排渣不当或孔内事故等)。

### 4 地质及施工条件综合分析方法

所谓综合分析方法, 即反射波曲线确定桩体“缺陷”部位后, 通过对这一部位的地质、施工条件的分析, 确定产生“缺陷”的原因和性质, 以便进一步处理。

#### 4.1 地质条件因素

资料来源为工程地质勘察报告、钻探取样记录。

- 围岩性质: 围岩与桩身砼波阻抗的差异及对反射波曲线的影响;
- 地层组合关系: 岩层分界面处的波阻抗差异及对反射波阻抗曲线的影响;
- 岩层的稳定性: 产生扩径、缩径、坍孔、掉块的可能性;
- 地下水: 地下水界面及水压力对成桩过程及曲线的影响。

#### 4.2 施工工艺因素

资料来源为钻探施工班报表。

- 钻探设备类型: 采用成孔工艺(冲击、回转、人工挖孔)对孔径、孔壁的影响;
- 排渣工艺: 采用的排渣形式(捞砂筒、正循环、反循环)对孔径、护壁层及孔底沉渣的影响;
- 钻进的难易程度: 施工进尺对孔径、孔壁、

护壁泥皮的影响;

d. 孔内事故:由各种原因造成的卡钻、掉钻、埋钻等孔内事故对孔径、孔壁及护壁质量的影响。

#### 4.3 砼及灌注过程因素

资料来源为砼配比单,灌注记录、试块试验。

a. 砼配比:制备砼的各因素对桩身质量的影响;

b. 砼灌注:埋管深度是否合理,是否存在灌注间断,是否有夹泥、离析、空洞、断桩等质量缺陷的可能;

c. 砼监测:砼面上升过程是否正常、砼上升高度与灌注量及理论方量是否成比例,并以此来推断有否扩径、缩径或坍孔现象;

d. 砼试块:根据试块强度的统计结果,确定对波速的影响。

#### 5 工程分析实例

实例 1:

a. 工程条件 某铁路桥梁工程基础为直径 1 250 mm、桩长 28 ~ 30 m 钻孔灌注桩,该场地地层自上而下为:第四系冲洪积砂砾石层,厚度为 15 ~ 17 m;断层泥砾,厚度为 2 ~ 5 m;底部为断层角砾,局部钙质或硅质胶结,厚度大于 30 m,并为本桩基的桩底持力层。

b. 施工工艺 采用冲击钻机成孔,正、反循环泵或捞砂筒排渣,水下导管灌注的施工工艺。

c. 曲线特征(如图 3) 低应变测试曲线反映,由冲击正、反循环施工的桩孔均在 15 ~ 17 m 范围有明显异向反射,在 18 ~ 20 m 范围存在明显的同相反射(而采用捞砂筒排渣施工的桩曲线正常)。桩底反射击不明显。

d. 综合分析 经地质条件及施工方法综合分析,造成上述反射波曲线“缺陷”的主要原因有:地质条件上由于砂砾石层稳定性差,易发生塌孔扩径现象;冲击反循环钻进形成的桩孔在地层的软硬接触带上存在着孔径“突变”,而捞砂筒排渣形成的孔径为“渐变”,反射波表现的“同向反射”实际是孔径“突变”的反应;正循环钻进易形成良好的护壁,突出的桩体形态的变化。

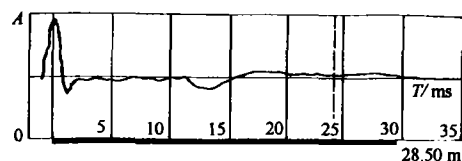


图 3 孔径突变对曲线的影响

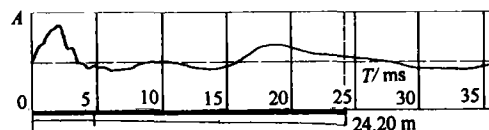


图 4 地质条件及扩径对曲线的影响

e. 验证 对反映缩径最为严重的桩进行钻孔取心,且在一根桩上对称地布置 2 个钻孔,钻探结果表明,桩体砼连续且满足强度要求,未发现严重缩径、离析夹泥现象;由砼灌注记录计算的桩体形成特征也证实“相对扩径”处的充盈系数  $K = 1.40 \sim 1.80$ ,相对“缩径”段的  $K = 1.15 \sim 1.20$ 。

实例 2:

某桩径  $\Phi 1\ 500\text{ mm}$ ,桩长为 24.20 m,砼强度 C30 的大桥桩基,无明显桩底反射(如图 4),初判桩长不足。经综合分析:在 15.7 m 处正好是容易造成扩径的强风化凝灰岩与不易扩径的弱风化凝灰岩引起的扩缩径处,从而影响了桩底反射,在相邻桩的测试曲线也有同样规律。后经取心验证,桩身完整。

#### 6 结语

低应变反射波的异常是桩身砼、桩身形态及桩周介质(地质条件及护壁形式)的综合反映,地质条件及施工工艺对曲线异常的影响不容忽视,上述工程实例旨在说明忽视了其影响将造成误判。对桩基反射波曲线“缺陷”形态的综合分析,不仅能较准确地确定其性质和产生的原因,而且有助于确定对工程质量的影响,制订处置方案及预防措施。

#### 参考文献

- [1] JGJ/T 93-95,建设部基桩低应变动力检测规程[S].
- [2] TB 10218-99,铁道部铁路工程基桩无损检测规程[S].
- [3] 王振东. 浅层地震勘探应用技术[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [4] 徐攸在,刘兴满. 桩基动测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.

#### Influence of construction and geology conditions on the reflected waves

YANG Guang-hui<sup>1</sup>, LI Wu-qiang<sup>2</sup> (1. Hydrogeology Bureau of China Coal Geology Administration, Handan 056004, China; 2. North-eastern China Coal Geology Bureau, Shenyang 110011, China)

**Abstract:** The measuring of dynamic reflected waves for low strain of pile base has been applied. This paper discusses the influence of construction and geology condition on the reflected waves, and put forwards the synthetic analysis method of reflected wave curves.

**Key words:** pile base; reflected waves; conditions of construction and geology