

唐国英. 高应变法检测预应力管桩接口探讨[J]. 华南地震, 2015, 35 (1):90-96 [TANG Guoying. The Discussion of High Strain Dynamic Testing Prestressed Concrete Pipe Pile Interface[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(1):90-96.]

高应变法检测预应力管桩接口探讨

唐国英

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 由于施工人员没有按有关规范要求施工, 预应力管桩锤击法沉桩过程中接口经常出现质量问题, 导致接口处出现断桩情况, 高应变法检测此类缺陷有明显优势。预应力管桩接口处断桩虽然不影响竖向承载力, 但能否继续使用则要看它的用途。以一些工程检测实例, 分析预应力管桩桩身与接口处断桩问题在高应变法检测中的表现。

关键词: 预应力管桩; 高应变法检测; 接口; 断桩

中图分类号: P319.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 01-0090-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.01.014

The Discussion of High Strain Dynamic Testing Prestressed Concrete Pipe Pile Interface

TANG Guoying

(Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Because the constructors do not comply with the relevant specification requirements during the process of construction, prestressed concrete pipe pile interface often appear quality problem in the process of driving piles by using hammering method, so the interface appeared. High strain dynamic testing have obvious advantages in this kind of defect. Although the broken pile in prestressed concrete pipe pile interface does not affect its vertical bearing capacity, but whether it can be continuously used depends on its purposes. The paper analyzes the problems occurred in high strain dynamic testing at the interface and the broken of the prestressed concrete pipe pile by some engineering detection examples.

Keywords: Prestressed concrete pipe pile; High strain dynamic testing; Interface; Broken pile

0 前言

预应力管桩具有桩身强度大、抗裂性能好、成桩质量高、穿透力较强、施工速度快, 使用范围广等众多优点, 它适用于一般黏性土及填土、淤泥和淤泥质土、粉土、非自重湿陷性黄土等土层^[1]。广

东沿海地区软弱土层厚、持力层埋藏较深, 因此该地区使用最广泛的桩基础为预应力管桩。

预应力管桩的沉桩方法主要有静压法和锤击法。静压法沉桩是采用静力压桩机将预制桩压入地基中的施工方法。压桩力属静力, 造成桩的穿透能力相对较小, 桩尖仅能到达 $N=50$ (N 为修正

收稿日期: 2014-05-27

作者简介: 唐国英 (1967-), 男, 工程师, 主要从事桩基检测和地震工程。

E-mail: tongkuoying@163.com.

后的标准贯入击数) 的强风化岩表面, 但施工质量较稳定。锤击法沉桩是用桩锤将桩打入地基中的施工方法。打桩锤击力属冲击动力, 预应力管桩较耐打, 在强力冲击下具有较强的穿透能力。大量工程实践表明, 使用 D45 以上重型柴油锤可使其穿透 5~6 m 厚的密实砂层或河卵石层, 桩尖进入 $N \geq 50$ 的强风化岩层 1~2 m 或密实卵石层 1~2 m。由于是冲击动力缘由, 此方法也容易打破桩头和打断桩身, 特别是接口焊缝位置, 若施工不规范或处理不当, 往往在沉桩过程中会松脱, 造成施工质量不稳定。锤击法沉桩会对周围产生振动、噪音、空气污染等影响, 所以在城区内或居民区附近只允许用静压法沉桩^[2-4]。

由于锤击法沉桩有它的优点, 所以在远离城区地方都采用此种方法打桩。本文仅对锤击法的桩基础在高应变法检测情况下作分析探讨。

1 预应力管桩的成桩情况

预应力管桩常用桩径有 $\Phi 300$ mm、 $\Phi 400$ mm、 $\Phi 500$ mm、 $\Phi 600$ mm, 设计混凝土强度等级为 C70~C80, 每一节桩配管长度在 4~15 m 之间, 根据现场地质条件选择配管长度^[5]。沉桩过程中经常需要接桩, 因此接桩焊缝质量马虎往往成为桩身质量的一大隐患。按设计要求, 预应力管桩采用焊接法接桩。接桩时预埋法兰盘表面应清洁, 上

下桩节间的缝隙应用铁垫片垫密焊牢, 焊接时应采取措施对称施焊, 以减少焊缝变形引起节点弯曲。焊缝应连续、饱满、无空洞。接口处的焊缝应自然冷却 10~15 min, 对外露铁件刷防腐漆后, 才可击打沉入土中。但实际沉桩施工过程中, 由于施工人员赶进度, 有时不按规范要求施工, 加上监督管理有时不到位。现场施工人员往往把桩对接好后就急于焊接, 不太注意桩端板处是否有泥沙、是否生锈、是否焊缝饱满, 更不会刷防腐漆。焊接完一圈后, 稍微校对垂直度, 然后马上拉锤击打, 经常忽略焊缝冷却间歇问题。由于一根桩要击打几百上千锤, 若焊缝质量不好, 或间歇时间不够长, 往往导致打下去的桩出现接口处松脱或断开情况。对于此类桩的检测, 高应变法是最好的测试手段。它既可以检测桩的承载力, 也可以检测桩身质量完整性, 包括焊缝的焊接质量情况。

2 高应变法检测的基本原理^[6]

用重锤冲击桩顶, 使桩土产生足够的相对位移, 以充分激发桩周土阻力和桩端支承力, 通过安装在桩顶以下桩身两侧的力和加速度传感器接收桩的应力波信号, 应用应力波理论分析处理力和速度时程曲线, 从而判定桩的承载力和评价桩身质量完整性。现场检测设备联接情况见图 1。

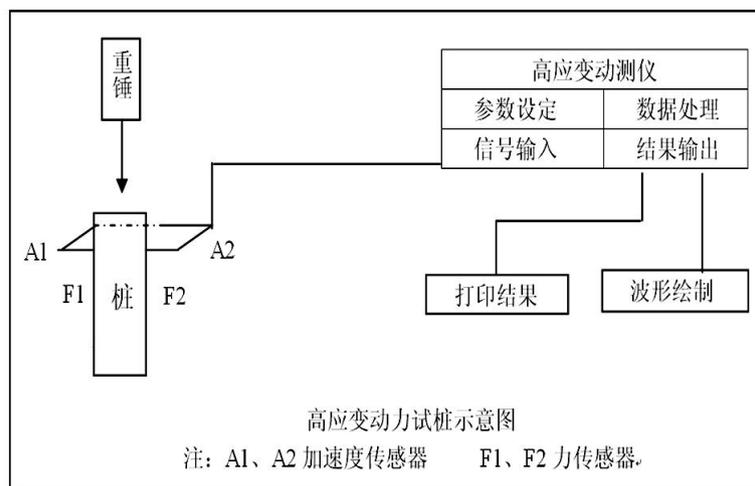


图 1 高应变法检测设备现场联接情况

Fig.1 Field coupling during high strain dynamic testing equipment

假设桩为一维线弹性杆, 测点下桩长为 L , 横截面积为 A , 桩材弹性模量为 E , 桩材质量密度为 ρ , 桩身内应力波传播速度(俗称弹性波速)为 $C(C^2 = E/\rho)$, 广义波阻抗或桩身截面力学阻抗为 $Z = A\rho C$, 式(1)、(2)为其桩身应力 σ 、应变 ε 关系式。

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \tag{1}$$

$$F = A \cdot E \cdot \varepsilon \tag{2}$$

假设土阻力 R 是由静阻力 R_s 和动阻力 R_d 两部分组成:

$$R = R_s + R_d \tag{3}$$

推导可得桩的一维波动方程:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{R}{\rho \cdot A} \quad (4)$$

分析方法采用 Case 法和实测曲线拟合法。设冲击速度峰对应时间为 t_1 , $t_2=t_1+2L/C$ 为桩底反射对应时间, 根据实测的力、速度曲线 $F(t)$ 、 $V(t)$ 推导可得 case 法判定桩的承载力的计算公式为:

$$R_c = (1-J_c) \frac{F(t_1) + Z \cdot V(t_1)}{2} + (1+J_c) \frac{F(t_2) - Z \cdot V(t_2)}{2} \quad (5)$$

对于等截面桩, 桩顶下第一个缺陷对应的完整性系数 β 由式(6)计算。

$$\beta = \frac{F \downarrow(t_1) - R_x + F \uparrow(t_x)}{F \downarrow(t_1) - F \uparrow(t_x)} \quad (6)$$

其中:

$$F \downarrow(t_1) = \frac{F(t_1) + Z \cdot V(t_1)}{2} \quad (7)$$

$$F \uparrow(t_x) = \frac{F(t_x) - Z \cdot V(t_x)}{2} \quad (8)$$

式(6)中, R_x 为缺陷点 X 以上的桩周土阻力, 缺陷位置可根据缺陷反射波的对应时间 t_x 由式(9)确定:

$$L_x = c \frac{t_x - t_1}{2} \quad (9)$$

实测曲线拟合法采用了较复杂的桩-土力学模型, 选择实测力或速度或上行波作为边界条件进行拟合, 拟合完成时计算曲线应与实测曲线基本吻合, 桩侧土摩阻力应与地质资料基本相符, 贯入度的计算值应与实测值基本吻合, 从而获得桩的竖向承载力和桩身质量完整性。

3 工程实例

本工程为惠州某工地多层建筑, 工程基桩采用预应力管桩, 桩径为 $\Phi 500 \times 125$ mm, 承载力特征值为 2 200 kN, 设计混凝土强度等级为 C80。地层分布由上至下为: 中砂、粉质黏土、粗砂、砂质黏性土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩。高应变法检测使用自由落锤作冲击力, 锤重 4 吨, 落锤高度在 0.6~1.0 m 范围。

某栋 97# 桩, 有效桩长 25 m (配管: 14+11), 测点桩长 24.7 m。正常情况下, 桩身完整, 焊缝基本完好的桩, 高应变法检测时击打第一锤就能看出端倪。图 2 为检测时打的第一锤, 当重锤击打到桩顶时, 锤弹跳起来, 锤击贯入度很小, 桩

无明显下沉。力和速度曲线光滑完整。拟合计算结果可以看出, 检测承载力为 4481 kN, 完整性系数 $\beta=1$, 证明桩身完好, 承载力和完整性均满足 I 类桩要求, 如图 3 所示。桩身完整性类别判定见表 1。

如果桩身某位置发生断裂, 则实测曲线在该位

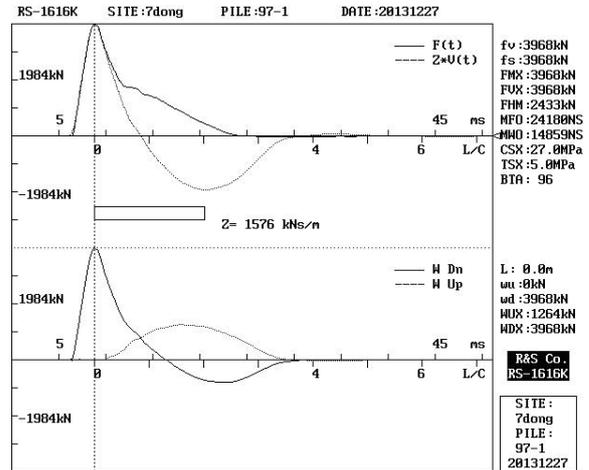


图 2 97# 桩力、速度曲线

Fig.2 Force, speed curve of 97 # pile

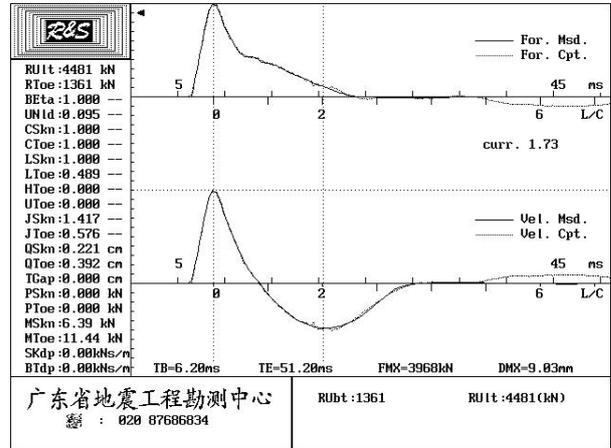


图 3 97# 桩拟合计算曲线

Fig.3 Fitting calculation curve of 97# pile

表 1 桩身完整性类别判定

Table 1 Categories determine of the foundation pile integrity

类别	β 值
I	$\beta=1.0$
II	$0.8 \leq \beta < 1.0$
III	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	$\beta < 0.6$

置处出现强烈反应: 力曲线迅速回零、速度曲线正向起跳。

某栋 125# 桩, 有效桩长 28 m(配管: 14+14),

测点桩长 27.5 m, 检测时 13.5 m 处有缺陷, 缺陷位置正好在接口处。图 4~8 为检测时击打的第一至第五锤。当打第一、第二锤的时候, 锤击贯入度比较大, 桩下沉量较大, 锤无弹跳, 声音沉闷, 速度曲线在接口位置突然起跳, 反应强烈, 力曲线迅速回零。当打第三锤的时候, 锤击贯入度已经缩小, 速度曲线反应没那么强烈了。当打第四、

第五锤的时候, 力和速度曲线已经平缓很多, 此时锤击贯入度已经很小了, 桩无明显下沉, 锤有弹跳。选取第五锤采样信号作拟合计算, 结果可以看出, 检测承载力为 4 848 kN, 完整性系数 $\beta=0.803$, 完整性为 II 类桩, 承载力和完整性均达到设计要求, 如图 9 所示。

某栋 131# 桩, 有效桩长 25 m(配管: 13+12),

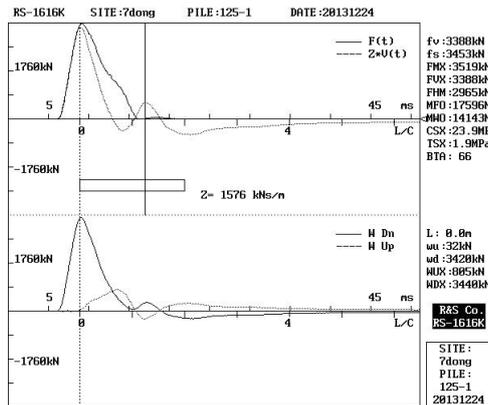


图 4 125# 桩第一锤力、速度曲线

Fig.4 Force, speed curve of the first hammer of 125 # pile

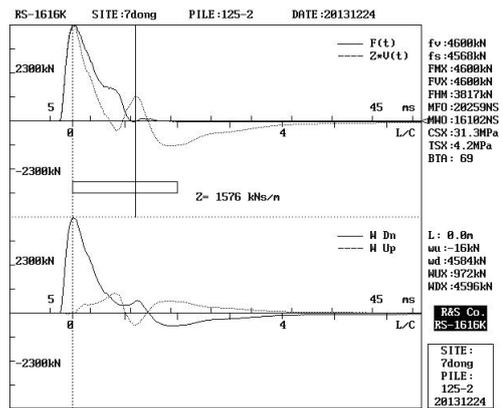


图 5 125# 桩第二锤力、速度曲线

Fig.5 Force, speed curve of the second hammer of 125 # pile

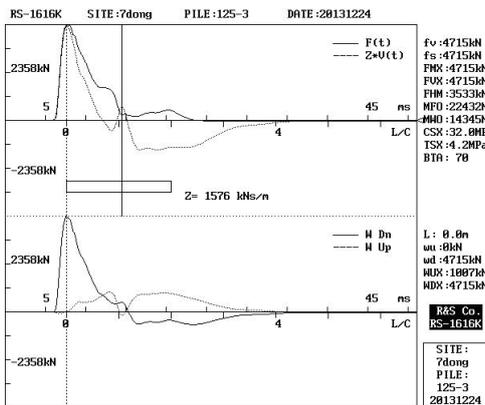


图 6 125# 桩第三锤力、速度曲线

Fig.6 Force, speed curve of the third hammer of 125 # pile

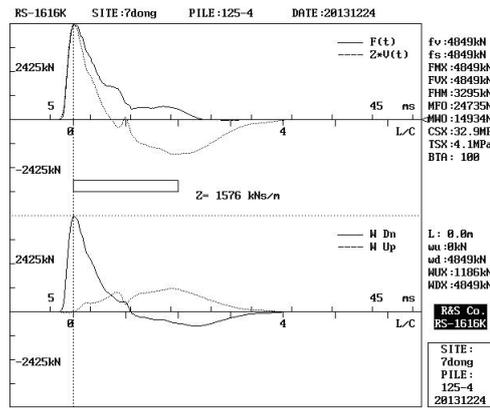


图 7 125# 桩第四锤力、速度曲线

Fig.7 Force, speed curve of the fourth hammer of 125 # pile

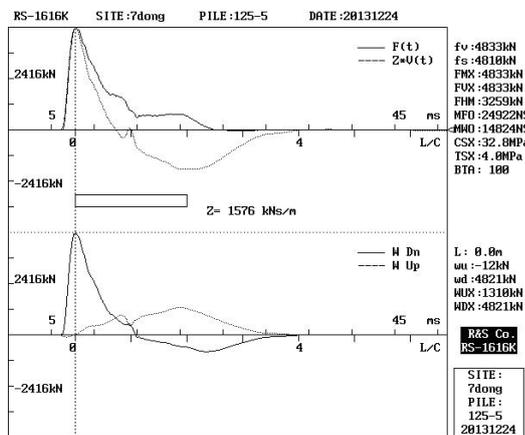


图 8 125# 桩第五锤力、速度曲线

Fig.8 Force, speed curve of the fifth hammer of 125 # pile

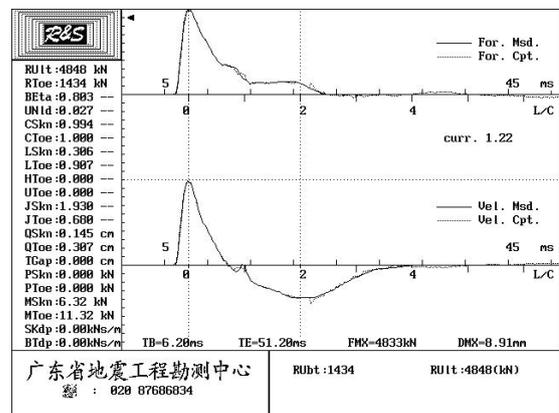


图 9 125# 桩第五锤拟合计算曲线

Fig.9 Fitting calculation curve of the fifth hammer of 125 # pile

测点桩长 24.7 m, 检测时 11.7 m 处有缺陷, 缺陷位置正好在接口处。图 10~11 为检测时打的第一、第二锤。两锤的贯入度都比较大, 桩下沉量较大, 锤无弹跳, 锤击声音沉闷, 力曲线在接口位置迅速回零, 速度曲线在接口位置突然起跳, 反应强烈。此时停止检测, 要求施工单位复打这根桩, 待观察后再作判断。

现场复打时, 桩的贯入度都不大, 总沉降量就在 5 cm 左右。

复打后第三天检测, 发现效果很好。图 12~13 为复测时的第一、第二锤情况。打第一锤时, 锤击贯入度非常小, 力和速度曲线无明显反应。打第二锤时也差不多, 桩无下沉迹象, 锤弹跳较强烈。选取复打后第二锤采样信号作拟合计算, 结果可以看出, 检测承载力为 4 452 kN, 完整性系数 $\beta=0.805$, 完整性为 II 类桩, 承载力和完整性均达到设计要求, 如图 14 所示。

为什么会出现上述这种现象呢? 作者认为, 在锤击法沉桩过程中, 当打桩锤击打桩顶时, 应力波从桩顶处迅速向下传播, 形成一组的压缩和拉伸波作径向运动。当这个应力大于桩身某处的承受力时, 就能把桩从此处拉开两节, 形成断桩。此时若这个位置是接口焊缝位置, 且焊缝质量较差时, 往往是首当其冲, 接口直接给振松并给应力波拉开了。若此时桩与桩之间距离过于紧密, 桩周土受挤压作用增加, 有可能继续扩大两节桩在断口处的间距, 也就是常常所说的“浮桩”现象。因为两节桩断开距离不大, 当高应变法检测重锤击打下来时, 就把两节桩之间的缝隙给逐步打到密实了。由于两节桩接口处有桩端板和铁皮保护, 既牢固坚硬, 又光滑平整, 因此容易给打成密实连接。所以出现前几锤打下时锤击贯入度较大, 缝隙打密实后, 最后两锤打下时锤击贯入度都很小, 此时看不出桩有什么大问题。

某栋 A# 桩, 有效桩长 24m (12+12), 测点桩长 23.5m, 检测时 15.5m 处有严重缺陷, 缺陷位置在接口处往下 2m。图 15~19 为检测时打的第一至第五锤。五锤的贯入度都比较大, 桩下沉量较大, 锤无弹跳, 锤击声音沉闷。在缺陷位置, 力曲线迅速回零, 速度曲线突然起跳, 反应强烈。从力和速度曲线上看, 前后五锤信号相差不大, 检测时锤击贯入度都较大, 并且缺陷位置不在接口处, 因此判别这根桩在 15.5 m 处断裂。

桩身虽然强度高, 但比较脆, 且断口处又凹凸不平, 不像完整的两节配管, 接口处均有法兰

盘, 光滑平整, 并有铁皮包裹保护。当桩顶受到几百吨的打击力时, 桩身断口处的破损有继续扩大的可能, 断口裂缝不规则, 甚至已经破碎, 不那么容易闭合。所以连续击打几锤, 锤击贯入度

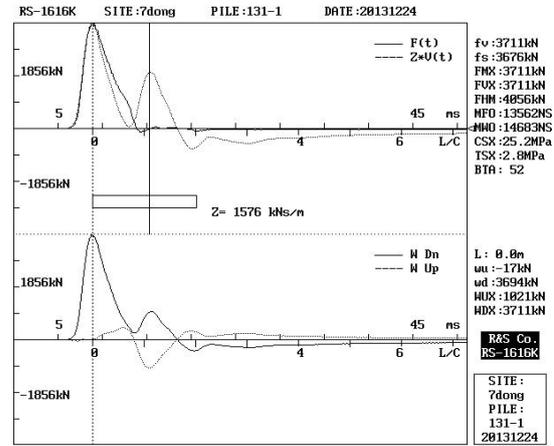


图 10 131# 桩第一锤力、速度曲线

Fig.10 Force, speed curve of the first hammer of 131 # pile

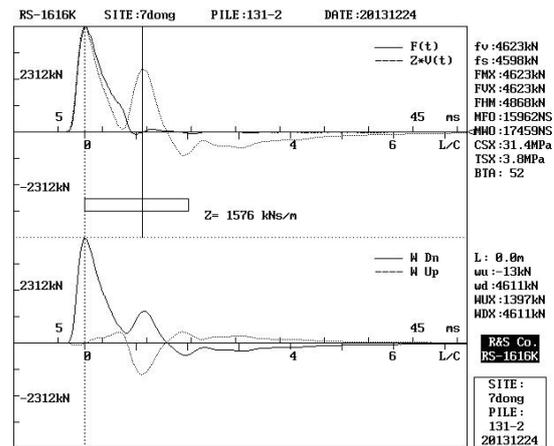


图 11 131# 桩第二锤力、速度曲线

Fig.11 Force, speed curve of the second hammer of 131 # pile

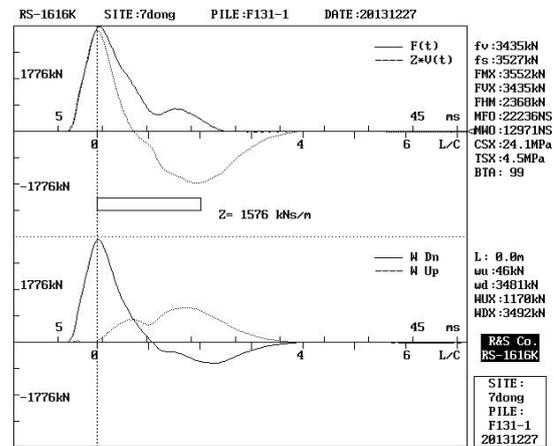


图 12 131# 桩复打第一锤力、速度曲线

Fig.12 Force, speed curve after repeat blow of the first hammer of 131 # pile

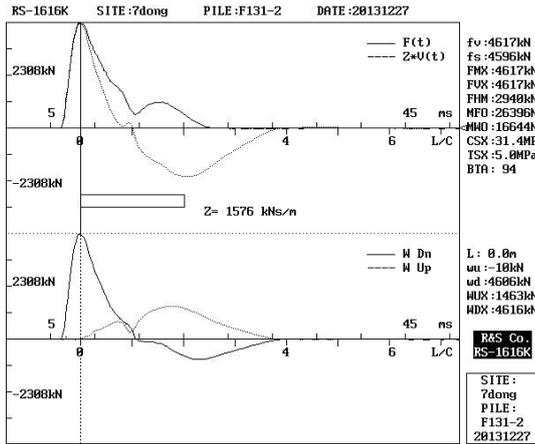


图 13 131# 桩复打第二锤力、速度曲线

Fig.13 Force, speed curve after repeat blow of the second hammer of 131 # pile

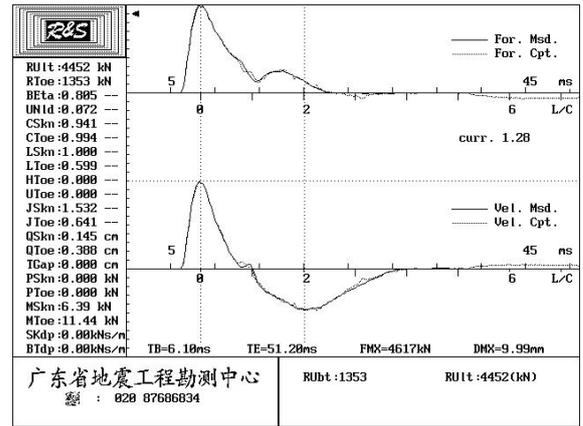


图 14 131# 桩复打第二锤拟合计算曲线

Fig.14 Fitting calculation curve after repeat blow of the second hammer of 131 # pile

都较大，桩都有较大下沉。选取最后一锤采样信号作拟合计算，结果可以看出，检测承载力只有 1 936 kN，完整性系数 $\beta=0.44$ ，完整性为 IV 类桩，承载力和完整性均达不到设计要求，如图 20 所示。

4 结语

虽然接口松脱与桩身某处断裂都属于断桩，但是如果只是接口处松脱，它不会影响桩的竖向抗压承载力，用静载方法验证检测是能满足承载力要求的。反过来说，静载方法无法知道桩的完整性情况。作者认为，若属于多层建筑或不用考虑水平力问题的桩基础，接口处的“断桩”在打击五、六锤以内能闭合，则可以作为 II 类桩使用；若属于高层以上建筑，则接口处的“断桩”应该直接判为 IV 类桩的不合格桩。因为高层以上建筑

要考虑建筑物的抗风、抗拔问题，此时也许竖向抗压承载力能满足要求，但桩的抗剪切作用大大降低或丧失，所以这种情况下不能判为 II 类桩来继续使用，也不要判为 III 类桩从而进一步用静载方法验证检测。至于桩身非接口位置的断裂，当然直接判为 IV 类桩毫无疑问。

参考文献:

- [1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 张德文, 张建民. 桩基础抗震性能的简易评价方法[J]. 地震工程学报, 2013, 35 (1): 69-83.
- [3] 李 飒, 王耀存, 蒲玉成. 海洋平台打桩过程中溜桩对桩基影响的研究[J]. 地震工程学报, 2014, 36 (3): 462-467.

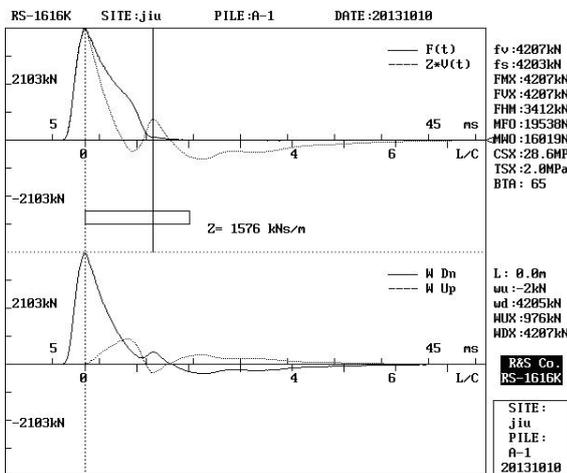


图 15 A# 桩第一锤力、速度曲线

Fig.15 Force, speed curve of the first hammer of A # pile

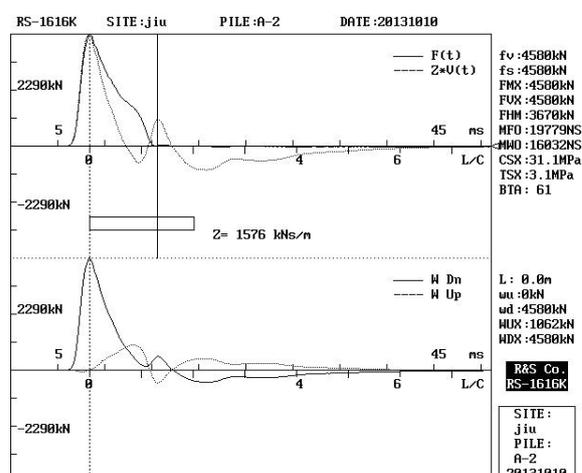


图 16 A# 桩第二锤力、速度曲线

Fig.16 Force, speed curve of the second hammer of A # pile

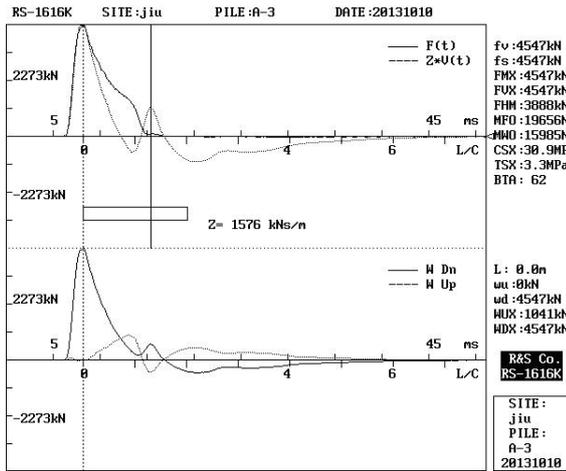


图 17 A# 桩第三锤力、速度曲线

Fig.17 Force, speed curve of the third hammer of A # pile

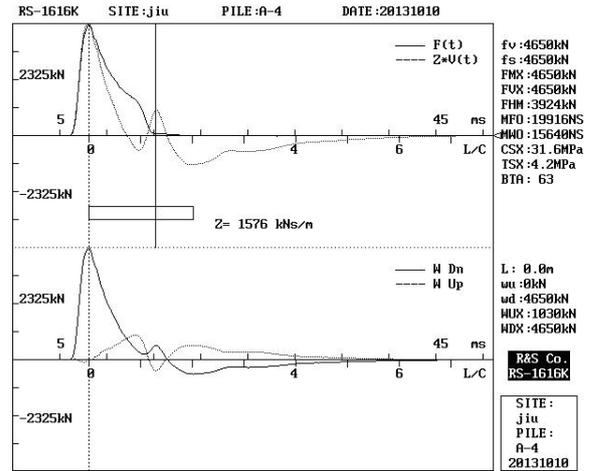


图 18 A# 桩第四锤力、速度曲线

Fig.18 Force, speed curve of the fourth hammer of A # pile

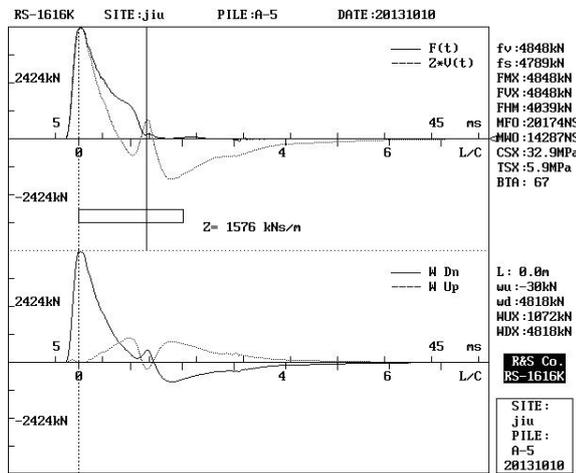


图 19 A# 桩第五锤力、速度曲线

Fig.19 Force, speed curve of the fifth hammer of A # pile

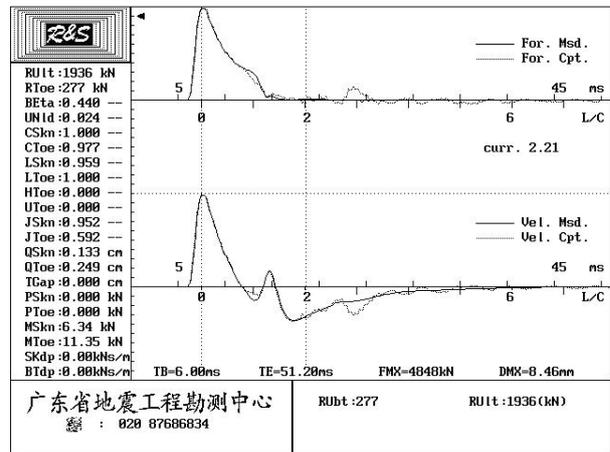


图 20 A# 桩第五锤拟合计算曲线

Fig.20 Fitting calculation curve of the fifth hammer of A # pile

- [4] 左照坤, 童朝霞. 近海风机单桩基础桩周边土应力特征分析[J]. 地震工程学报, 2014, 36 (3): 549-554.
- [5] 郑新志. 薄壁方钢管混凝土桩劲化设计及轴压性能探讨 [J]. 华南地震, 2014, 34 (1): 94-102.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ106-2003建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.