

唐国英, 何德华, 吴汝利. 声波透射法检测混凝土灌注桩完整性分析[J]. 华南地震, 2015, 35(2): 80-88. TANG Guoying, HE Dehua, WU Ruli. Application of Sound Wave Transmission Method to Integrality Measurement of Concrete Grouting Pile[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(2): 80-88.]

声波透射法检测混凝土灌注桩完整性分析

唐国英, 何德华, 吴汝利

(广东省地震局, 广州, 510070)

摘要: 以广东某高速公路的混凝土灌注桩的工程检测实践, 分析声波透射法检测混凝土灌注桩缺陷的声学参数特性, 总结出常见的缺陷类型特征, 提出对声波透射法检测混凝土灌注桩完整性的一些见解。

关键词: 声波透射法; 声学参数; 混凝土灌注桩; 缺陷

中图分类号: TU753.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 02-0080-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.02.013

Application of Sound Wave Transmission Method to Integrality Measurement of Concrete Grouting Pile

TANG Guoying, HE Dehua, WU Ruli

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

Abstract: Based on some engineering testing examples, the paper analyzes the acoustic parameters features during the concrete perfusion pile detection by using the sound wave transmission method, and sums up the common type of defect features. The author puts forward some opinions for sound wave transmission method testing of concrete perfusion pile integrity.

Key words: Cross-hole sonic logging; Acoustic parameters; Concrete grouting pile; Defects

0 引言

基础工程是建筑工程的重要组成部分, 它的质量好坏直接影响整个建筑物的结构安全。桩基础又是主要的基础形式之一。重大工程、路桥工程的桩基础, 由于要考虑建筑物本身的安全及用途等方面因素, 主要采用混凝土灌注桩。灌注桩的成桩过程是一种隐蔽施工过程, 其在施工过程中往往会出现一些质量问题, 如存在离析、蜂窝、

松散、夹泥、缩径、断裂、空洞、沉渣等缺陷问题。因此, 灌注桩成桩后必须对其进行质量检测, 确保工程质量安全。当前, 无损检测桩身质量完整性的几种方法中, 声波透射法是最好的检测手段。其测试效率高, 测试的深度范围不受限制, 不会破坏被测对象, 技术理论可靠, 测试结果可信度也较高。

但是, 由于混凝土是一种多材料的集结体, 声波在其中的传播路径是一个很复杂的物理过程;

收稿日期: 2014-05-26

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: tongguoying@163.com.

另一方面，混凝土灌注桩的成桩条件、环境及影响其质量的其他各种因素复杂且难以预见，因此桩身混凝土质量的离散性及不确定性都很高；此外，在检测过程中，有些检测点的声耦合条件、两声测管不平行等影响因素的存在，都有可能导导致灌注桩的声测误差增大。因此，声波透射法检测混凝土灌注桩过程中，如何利用所检测的透过混凝土传播的声学参数，去发现桩身混凝土存在缺陷问题，评价桩身混凝土质量情况，从而判定桩身完整性类别，这是该方法检测的最终目的，也是我们要面对的一个检测难题。

1 声学参数与混凝土完整性质量的关系

在混凝土灌注桩完整性质量检测过程中，我们常用的声学参数有：声速、波幅、频率和波形。声速是检测混凝土的一个主要参数，它与混凝土的强度存在相关性。混凝土声速高低基本上可以反映其强度的大小。仪器检测到的声速值比较稳定，受非缺陷方面因素的影响较小，结果的重复性也较好，是判定混凝土完整性质量的主要参数。接收声波首波波幅也是另一主要参数，它表征声波透过混凝土后能量衰减的程度。正常情况下，接收波波幅强与弱，正是反应混凝土的粘塑性，它的衰减与混凝土质量关系密切，它比声时更加敏感地反应缺陷。但是波幅检测值稳定性较声速差，它的可比面较窄，只能用来做相对比较。

声波的脉冲含有各式各样频率成分，当它穿过混凝土后，不同频率的衰减程度不同。高频衰减快，低频衰减慢。因此，接收主频率是反应衰减过程的一个量值。它的可比性也受到限制，只能用来作声速、波幅的辅助判据。

波形也是判断混凝土缺陷的一参考条件。声波在混凝土缺陷处发生折射和反射，形成各式各样的散射波束，波形会发生不同程度畸变。正常混凝土的接收波波形特征是：首波较陡峭、振幅较大、包络线呈半圆形、第一个周期的波形无畸变等。有缺陷混凝土的接收波波形特征是：首波较平缓、振幅较小、包络线呈喇叭形、波形有畸变等。当缺陷严重、范围较大时，声波无法接收，接收波呈直线状。

我们在数据分析时，除了采用声速、波幅、主频、波形判据外，同时还引入了 PSD 判据。

PSD 判据实际上反映了测点间距、声波穿透距离、混凝土质量等因素之间的综合关系，这一

关系随缺陷的性质和范围的不同而变化。当声时有变化时，PSD 值反应强烈，对缺陷反应非常敏感。另一方面，PSD 值还可以用来判断两声测管之间是否平行，修正非缺陷因素带来的影响。

2 工程检测实例

以下是声波透射法检测广东某高速公路的混凝土灌注桩的工程实例，该工程桩径范围为 $\Phi 1\,000\sim 2\,500\text{ mm}$ （桩径 $\Phi 1\,000\sim 1\,800\text{ mm}$ 预埋三根声测管；桩径 $\Phi 1\,800\text{ mm}$ 以上预埋四根声测管），混凝土强度等级为 C30，检测桩长范围为 13.2~44.9 m。实际检测过程中遇到有明显缺陷或严重缺陷的问题桩，经开挖或抽芯已得到验证。下面分别作分析介绍。

34-1# 桩的桩径为 $\Phi 1\,500\text{ mm}$ ，桩长为 34.0 m，混凝土强度等级为 C30。图 1、2 分别为桩的 AB、AC、BC 剖面声学参数图及波列图。从图中可以看出，各检测剖面的声速、波幅均无异常，无声速低于低限值，故判为完整桩，该桩属 I 类桩。

1-1-2# 桩的桩径为 $\Phi 1\,500\text{ mm}$ ，桩长为 28.7 m，混凝土强度等级为 C30。图 3、4 分别为桩的

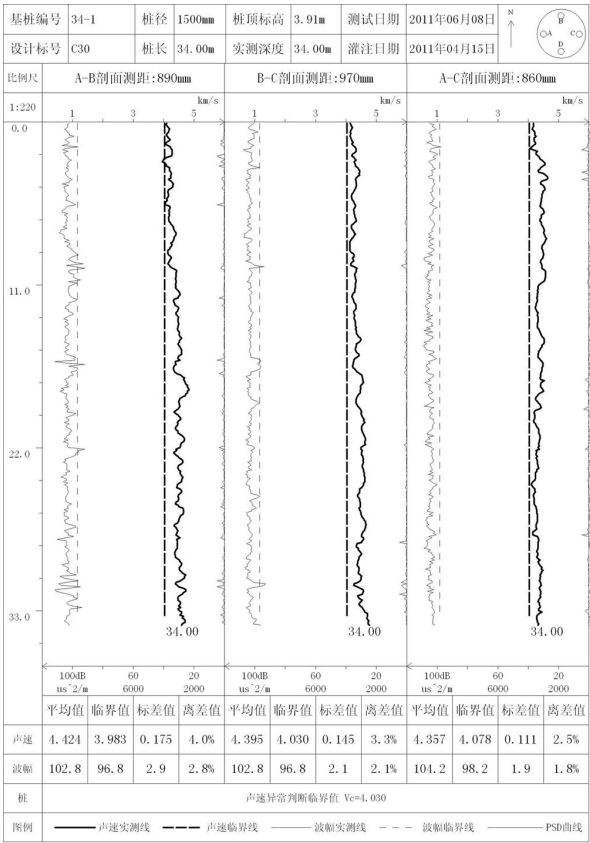


图 1 34-1# 桩声学参数图

Fig.1 Acoustic parameters of 34-1# pile

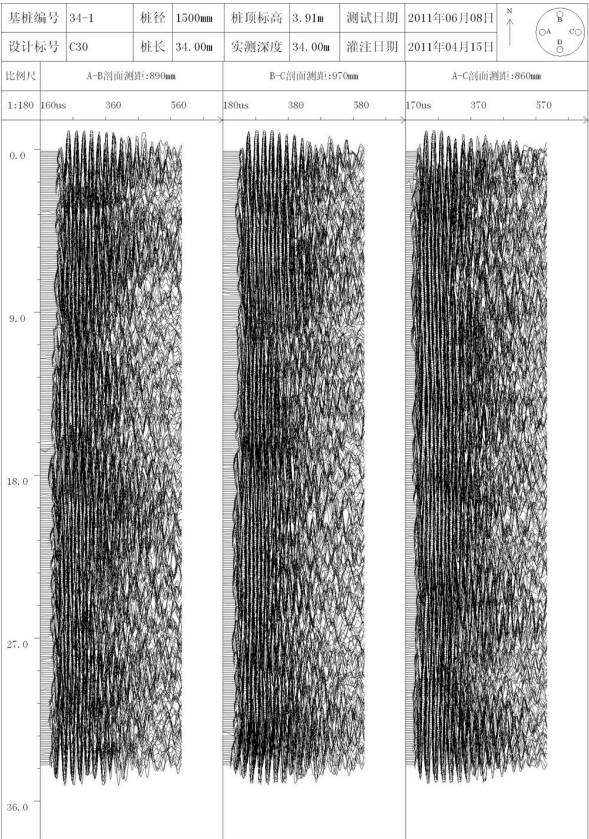


图 2 34-1# 桩波列图

Fig.2 Wave train graph of 34-1# pile

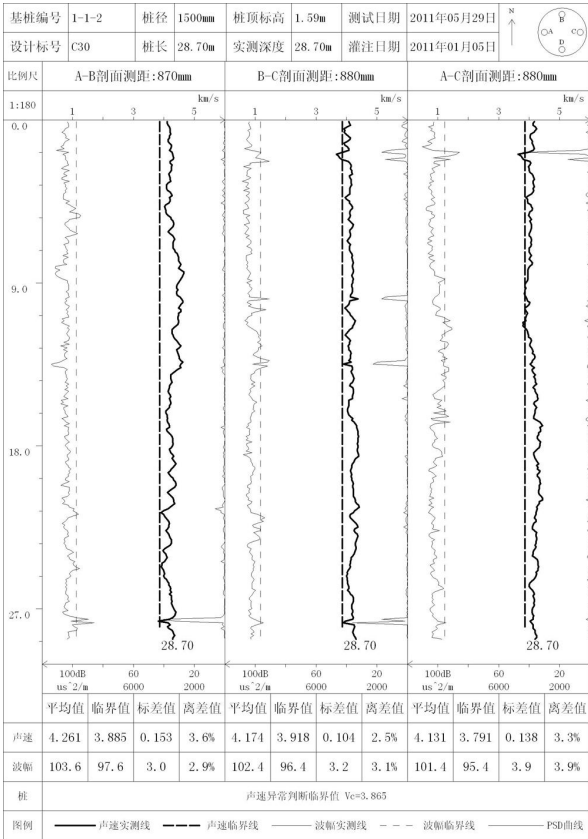


图 3 1-1-2# 桩声学参数图

Fig.3 Acoustic parameters of 1-1-2# pile

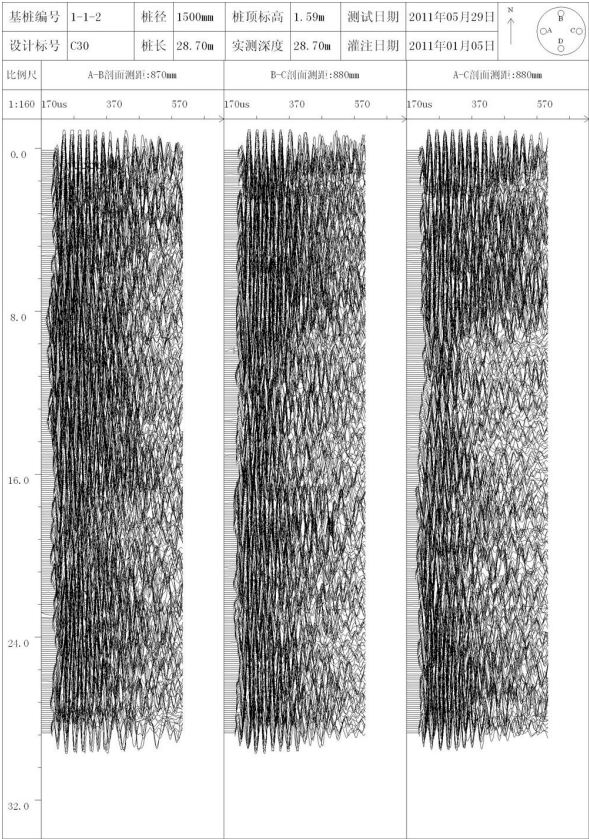


图 4 1-1-2# 桩波列图

Fig.4 Wave train graph of 1-1-2# pile

AB、AC、BC 剖面声学参数图及波列图。从图中可以看出，在 AC、BC 剖面 1.8~2.1 m，AB、BC 剖面 27.6~27.8 m 均存在声学参数异常，即声速、波幅出现轻微异常，该桩有轻微缺陷，故判为Ⅱ类桩。

Z10-2# 桩的桩径为 $\Phi 1\,300\text{ mm}$ ，桩长为 31.2 m，混凝土强度等级为 C30。图 5、6 分别为桩的 AC 剖面声学参数图及波列图。在 AC 剖面 5.6~6.1 m，首波清晰、波形正常，波速轻微异常、波幅较正常混凝土稍小，此处判为轻微缺陷。在 10.3~11.5 m，穿过芯样断开位置的声速、波幅曲线严重畸变，首波不清，其余首波可读，波形无明显畸变，此处判为明显缺陷。综合检测结果，该桩判为Ⅲ类桩。

经抽芯检测发现，在 5.8~6.0 m 为砂浆，芯样连续完整，胶结较好，混凝土强度高、不透水。在 10.5~11.0 m 为砂浆，芯样断开部位指甲可划痕、透水，其余部位混凝土强度较高、不透水。

23-9# 桩的桩径为 $\Phi 2\,500\text{ mm}$ ，桩长为 29.0 m，混凝土强度等级为 C30。图 7、8 分别为桩的 AD 剖面声学参数图及波列图。AD 剖面的上半部声速、波幅声学参数异常明显，波形严重畸变，呈波纹状；下半部首波基本清晰、无明显畸变，但

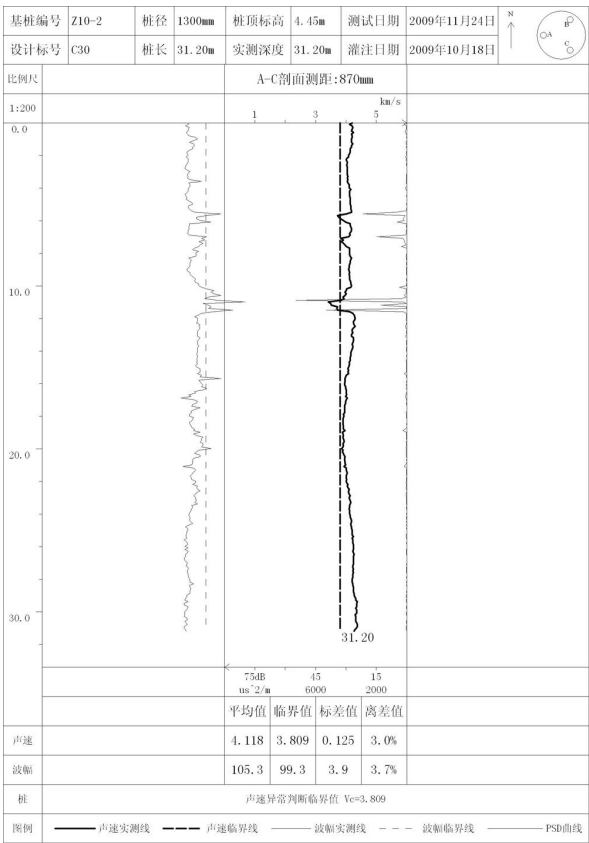


图 5 Z10-2# 桩声学参数图

Fig.5 Acoustic parameters of Z10-2# pile

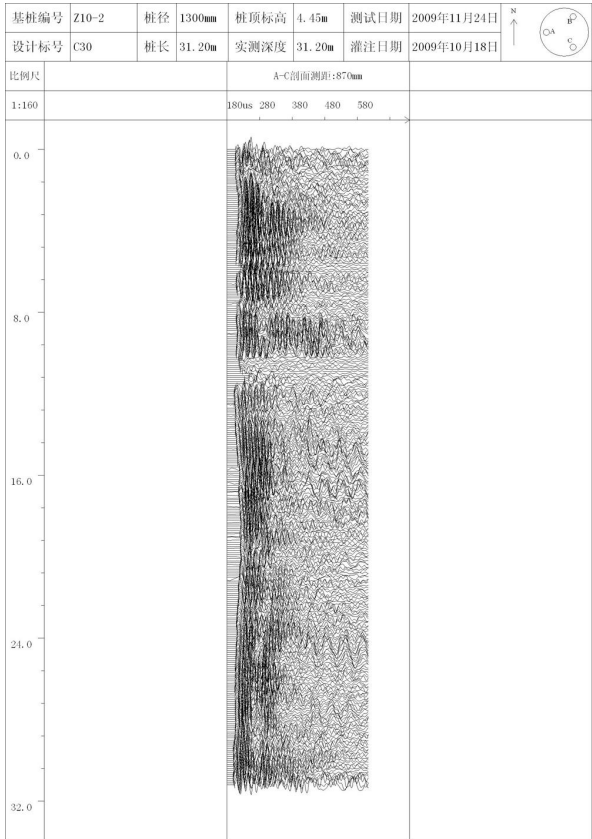


图 6 Z10-2# 桩波列图

Fig.6 Wave train graph of of Z10-2# pile

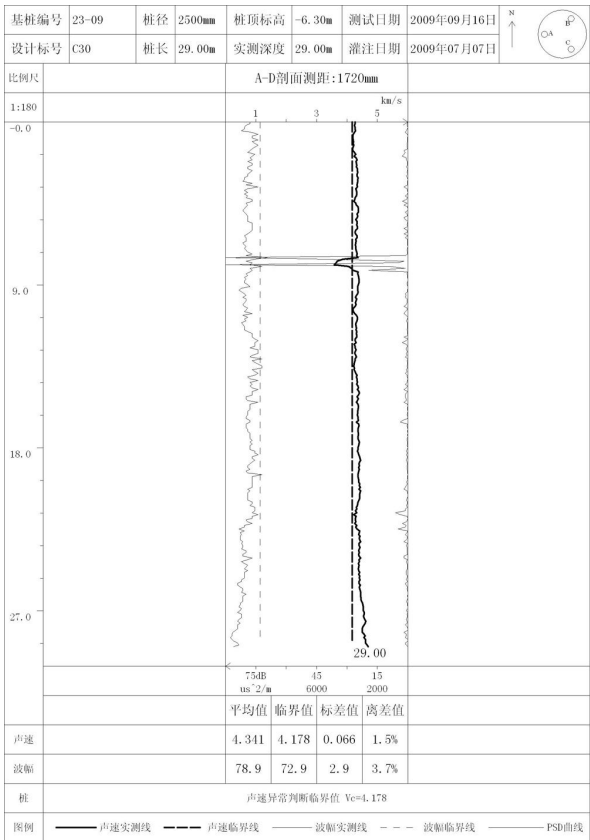


图 7 23-9# 桩声学参数图

Fig.7 Acoustic parameters of 23-9# pile

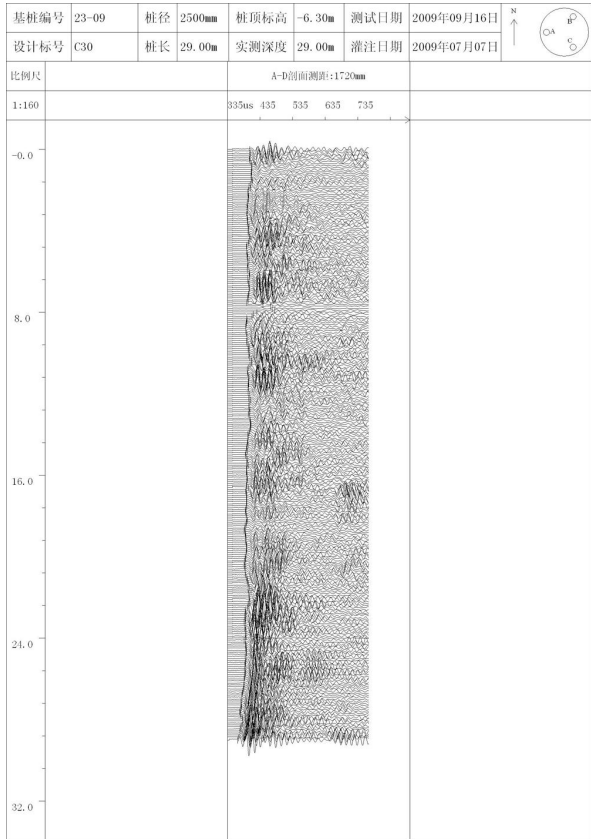


图 8 23-9# 桩波列图

Fig.8 Wave train graph of 23-9# pile

波幅较小。该桩存在明显缺陷，故判为Ⅲ类桩。
在 AD 剖面靠 D 管位置抽芯检测，发现在 7.35~7.75 m 为砂浆夹泥。上半部芯样夹泥且不完整，透水；下半部混凝土连续完整，胶结较好，强度较高。

Z29-2# 桩的桩径为 $\Phi 2\,000\text{ mm}$ ，桩长为 31.1 m，混凝土强度等级为 C30。图 9、10 分别为桩的 AD 剖面声学参数图及波列图。在 AD 剖面 9.9~10.8 m，声速异常明显至严重，上部首波可读，波形畸变；下部波形严重畸变，呈波纹状。该桩判为Ⅳ类桩。

在 AD 面靠 D 管位置抽芯检测，发现在 10.0~10.6 m 为砂浆，局部夹泥。上部芯样较完整，表面见星点状泥痕，指甲可划出微痕；中部指甲划痕清晰，夹泥较上部多，透水；下部夹泥增多，芯样不成形。

X20-5# 桩的桩径为 $\Phi 1\,800\text{ mm}$ ，桩长为 44.9 m，混凝土强度等级为 C30。图 11、12 分别为桩的 BC 剖面声学参数图及波列图。在 BC 剖面 0.8~1.4 m，声速、波幅曲线呈直线状，波幅非常小。经开挖验证，BC 面 0.9~1.3 m 夹淤泥团。该桩判为Ⅳ类桩。

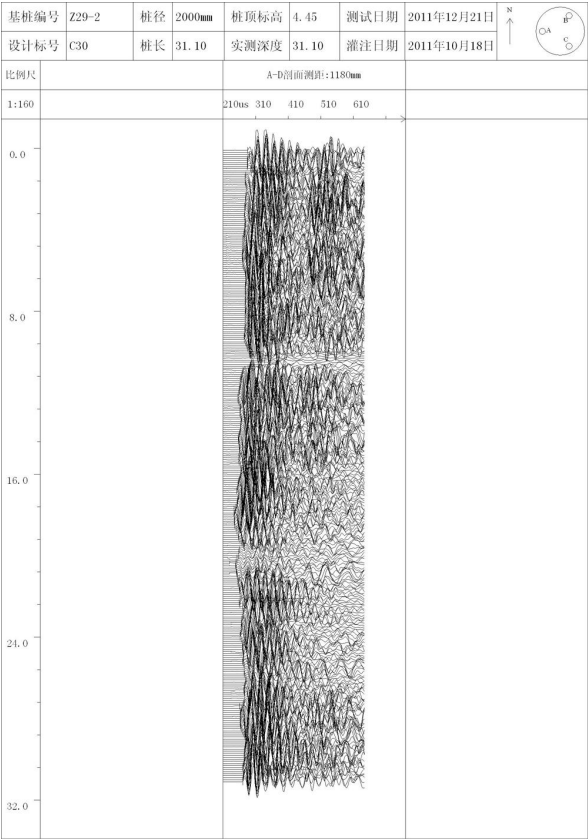


图 10 Z29-2# 桩波列图
Fig.10 Wave train graph of Z29-2# pile

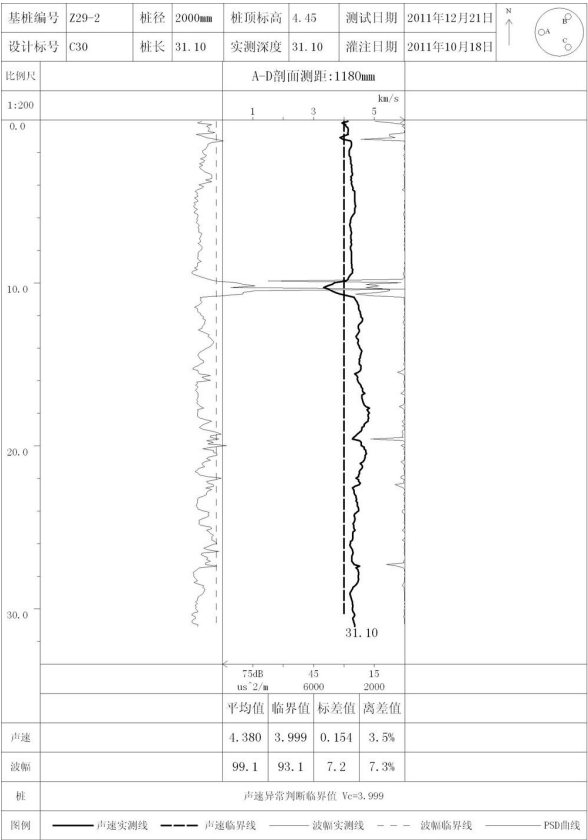


图 9 Z29-2# 桩声学参数图
Fig.9 Acoustic parameters of X20-5# pile

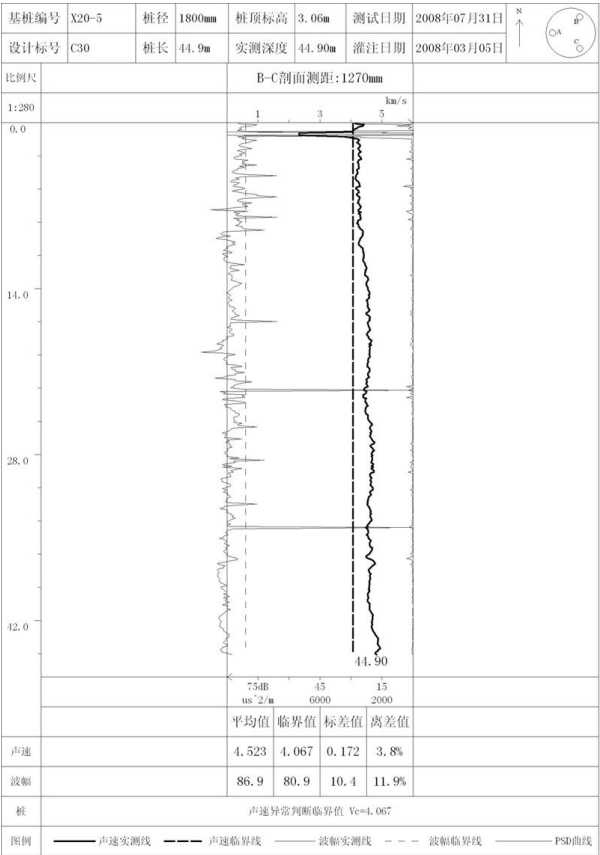


图 11 X20-5# 桩声学参数图
Fig.11 Acoustic parameters of X20-5# pile

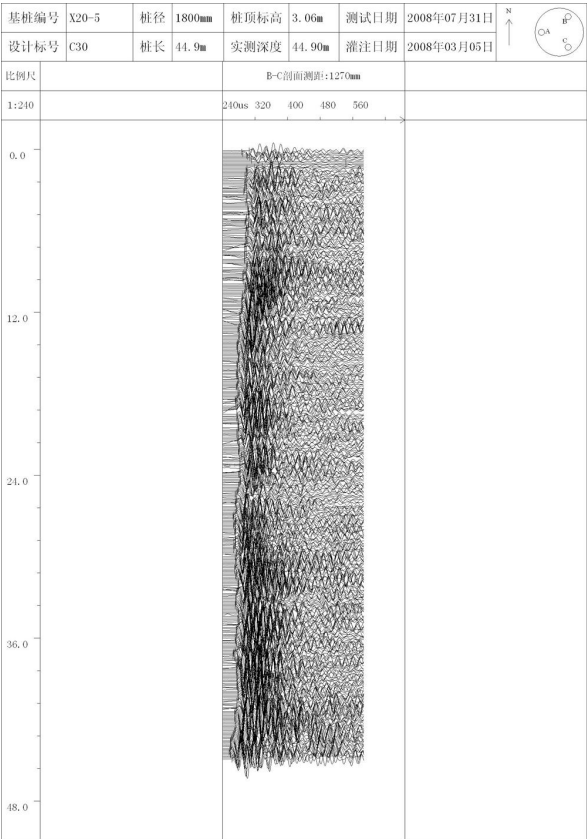


图 12 X20-5# 桩波列图

Fig.12 Wave train graph of X20-5# pile

53# 桩的桩径为 $\Phi 1\ 800\ \text{mm}$, 桩长为 $13.2\ \text{m}$, 混凝土强度等级为 C30。图 13、14 分别为桩的 AB、AC、BC 剖面声学参数图及波列图。分别在 AB、AC、BC 剖面的 $2.3\sim 4.2\ \text{m}$ 、 $3.2\sim 5.3\ \text{m}$ 、 $2.7\sim 4.8\ \text{m}$ 均无接收波信号, 声速、波幅曲线呈直线状。该桩判为 IV 类桩。

在 AC 剖面离桩中心 $30\ \text{cm}$ 位置抽芯检测, 发现在 $3.5\sim 5.13\ \text{m}$ 含夹砂层, 属严重断桩。

B6-2# 桩的桩径为 $\Phi 1\ 000\ \text{mm}$, 桩长为 $14.5\ \text{m}$, 混凝土强度等级为 C30。图 15、16 分别为桩的 AB、AC、BC 剖面声学参数图及波列图。分别在 AB、AC、BC 剖面的 $8.8\sim 14.2\ \text{m}$ 、 $8.8\sim 14.1\ \text{m}$ 、 $8.7\sim 14.5\ \text{m}$ 接收波信号极弱, 声速、波幅曲线呈单一波纹状。该桩判为 IV 类桩。

在 AB 剖面连线中间离桩中心 $20\ \text{cm}$ 位置抽芯检测, 发现在 $8.8\ \text{m}$ 开始芯样还成形, 但胶结极差, 粗、细骨料界线分明, 往下逐渐变成散体。

7-2# 桩的桩径为 $\Phi 2\ 200\ \text{mm}$, 桩长为 $32.4\ \text{m}$, 混凝土强度等级为 C30。图 17、18 分别为桩的 AB、AC、AD 剖面声学参数图及波列图; 图 19、20 分别为桩的 BC、BD、CD 剖面声学参数图及波列图, 六各剖面底部声速、波幅均有严重异常,

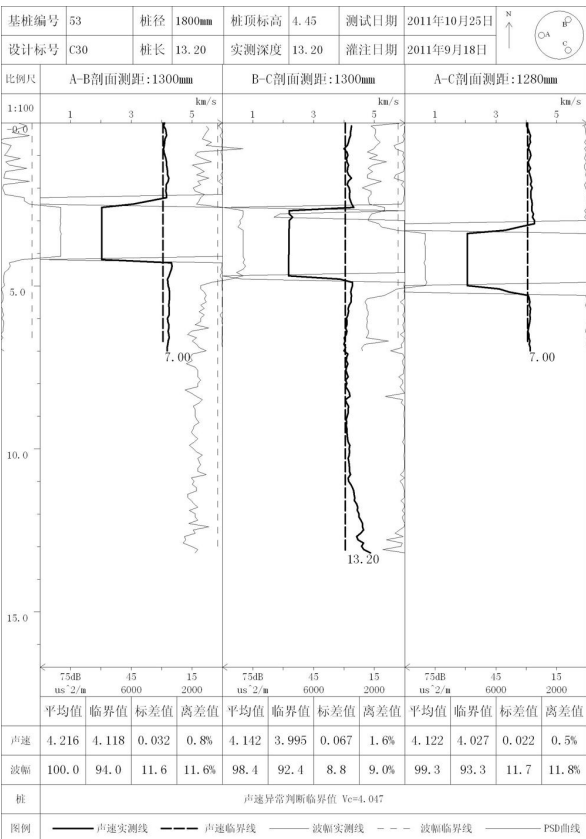


图 13 53# 桩声学参数图

Fig.13 Acoustic parameters of 53# pile

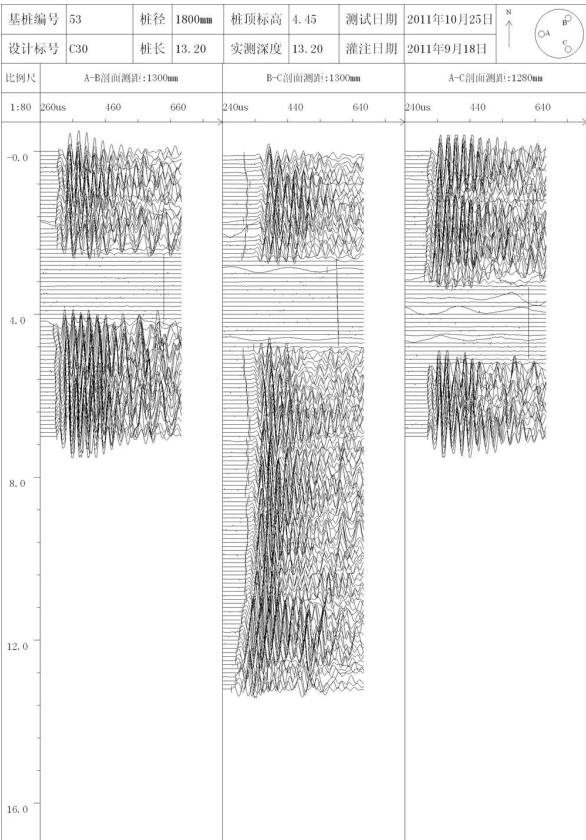


图 14 53# 桩波列图

Fig.14 Wave train graph of 53# pile

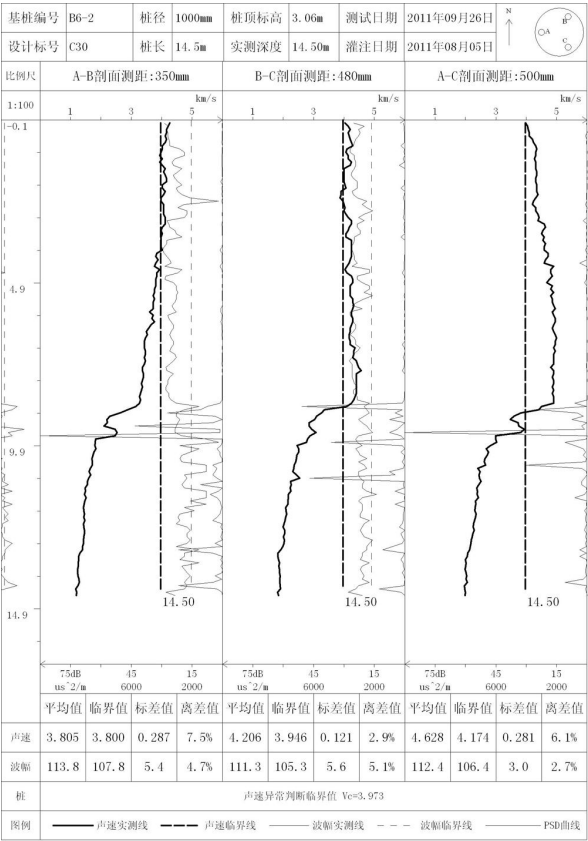


图 15 B6-2# 桩声学参数图

Fig.15 Acoustic parameters of B6-2# pile

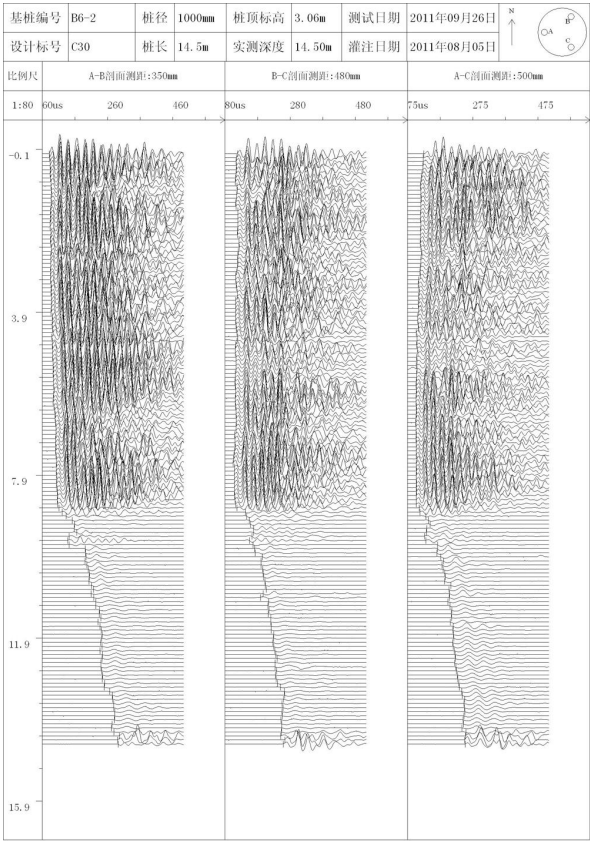


图 16 B6-2# 桩波列图

Fig.16 Wave train graph of B6-2# pile

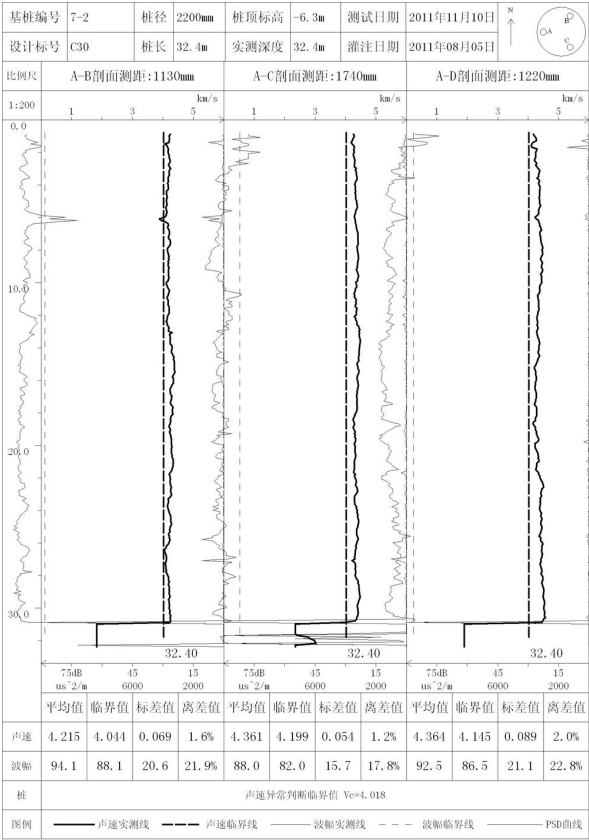


图 17 7-2# 桩声学参数图

Fig.17 Acoustic parameters of 7-2# pile

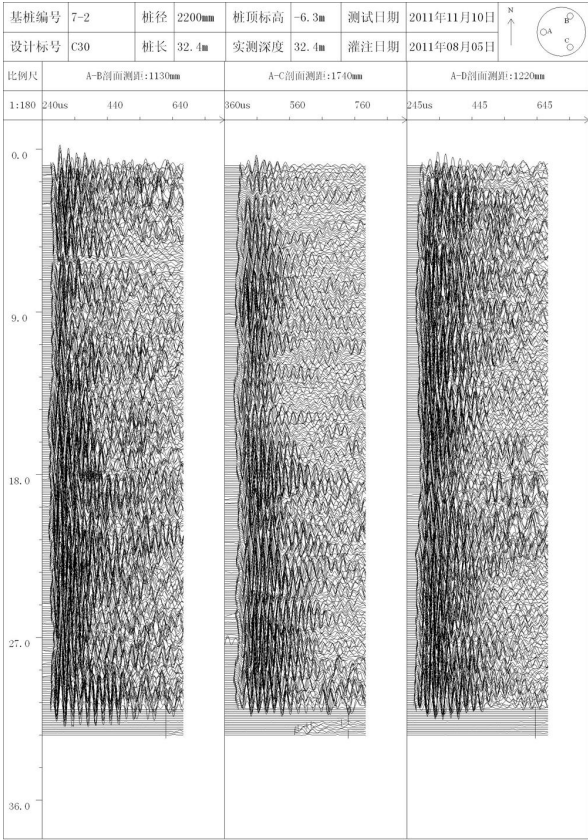


图 18 7-2# 桩波列图

Fig.18 Wave train graph of 7-2# pile

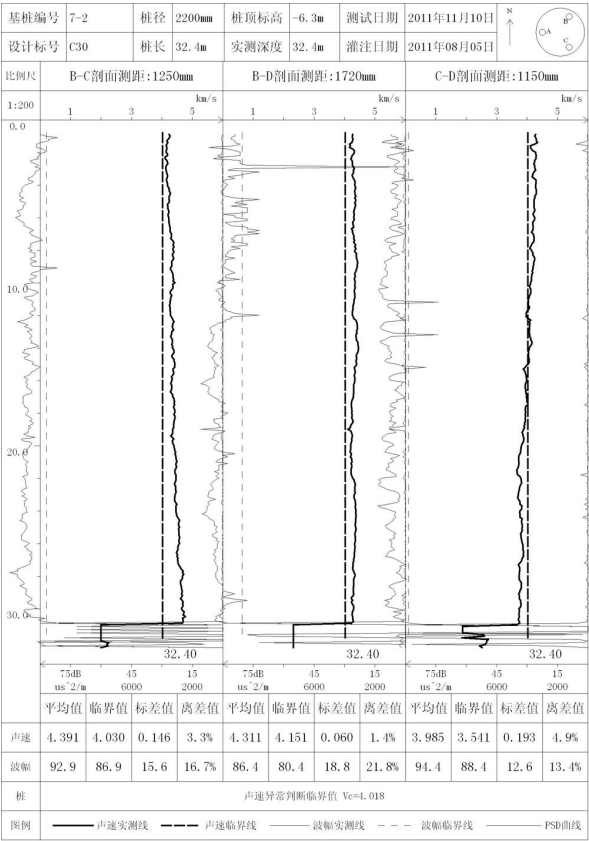


图 19 7-2# 桩声学参数图

Fig.19 Acoustic parameters of 7-2# pile

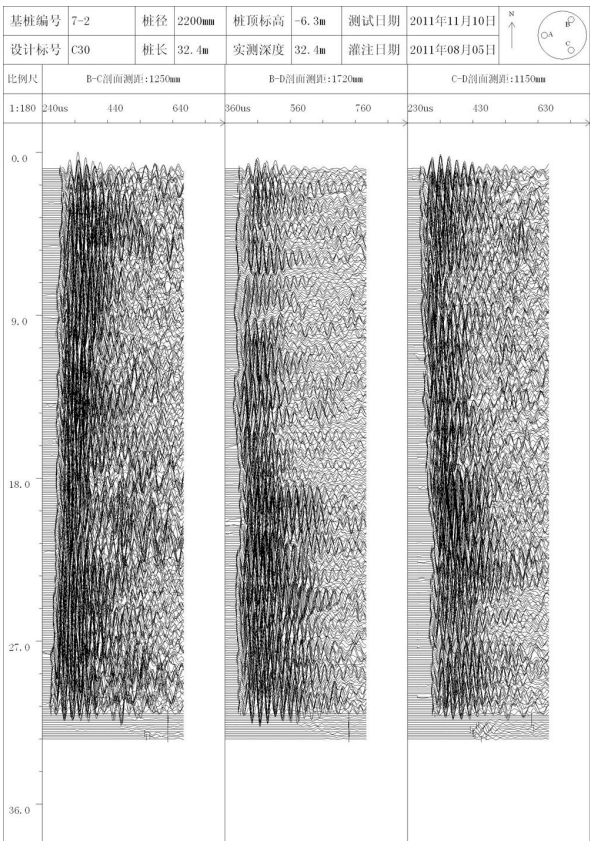


图 20 7-2# 桩波列图

Fig.20 Wave train graph of 7-2# pile

且整齐划一。该桩判为Ⅳ类桩。

抽芯检测时共钻三个孔,分别在 A、B、C 管与桩中心连线上离管 25 cm 处开钻。A 号孔芯样连续完整、长 32.39 m、无沉渣; B 号孔芯样连续完整、长 32.20 m、桩底见 20 cm 黄色泥浆; C 号孔芯样连续完整、长 32.30 m、桩底见 10 cm 泥浆。

A-3-1# 桩的桩径为 $\Phi 1300$ mm, 桩长为 34.0 m, 混凝土强度等级为 C30。图 21、22 分别为桩的 AB、AC、BC 剖面声学参数图及波列图。分别在 AB、AC、BC 剖面的 33.8~34.0 m、33.3~34.0 m、33.4~34.0 m 声速均有明显异常,且从上而下声速呈线性下降,但首波清晰、波形无畸变; 33.8~34.0 m 声速严重异常,波形畸变,首波可读。该桩判为Ⅳ类桩。

在 AC 管连线上离 C 管 30 cm 位置抽芯检测,发现从 32.7 m 开始芯样一侧见黄色泥浆,往下逐渐变成半边为混凝土、半变为黄色泥浆, 33.7~34.0 m 全为泥浆。

3 常见缺陷类型总结

混凝土灌注桩不同类型的缺陷,会引起声学

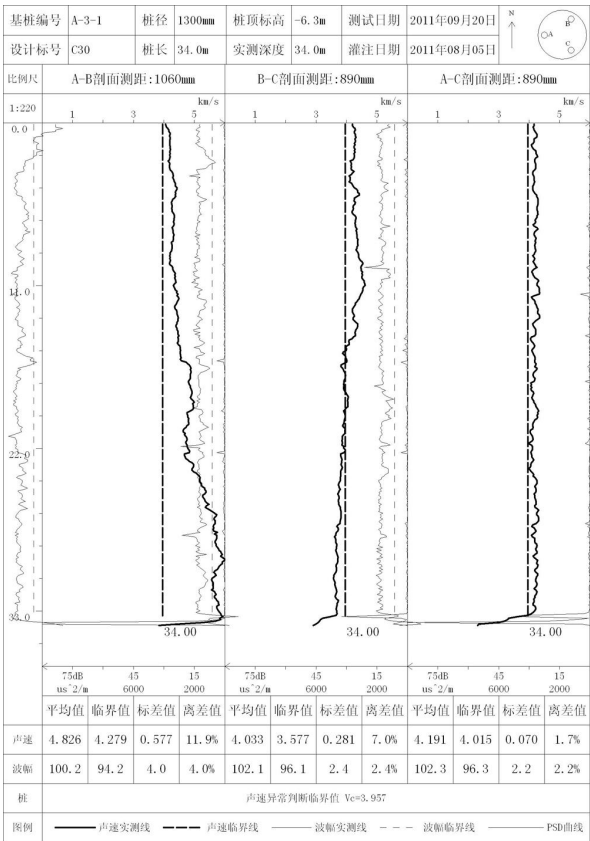


图 21 A-3-1# 桩声学参数图

Fig.21 Acoustic parameters of A-3-1# pile

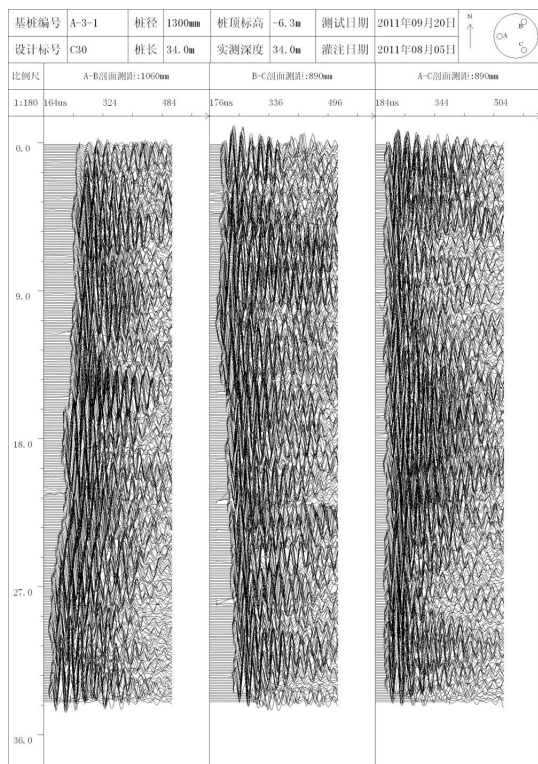


图 22 A-3-1# 桩波列图

Fig.22 Wave train graph of A-3-1# pile

参数的不同变化特征,可以总结出以下某些规律。

沉渣。遇到夹泥、夹砂以及物质成分复杂的沉渣,声速和波幅曲线几乎呈直线状。沉渣是一种松散的、低强度的介质,其本身的声速很低,对声速、波幅的衰减也相当强烈。所以,当遇到桩底沉渣时,声速、波幅下降非常剧烈。若在桩底出现,基本上都属于沉渣引起的。

胶结极差。声速、波幅均很小,声速、波幅曲线呈单一或连续波纹状或锯齿状。

空洞。若某一声测管在某处被空洞包裹,则在该处的接收波信号极弱,一般呈直线状;若某剖面上存在空洞,则该处波幅衰减较大,空洞体积越大则波幅衰减越严重。

泥砂与水泥浆的混合物。若出现在桩顶位置,则属于桩顶标高不满足设计要求;若出现在桩身位置,则属于断桩。其最大特点是声速、波幅均下降明显。出现在桩顶位置时往往是缓变,出现在桩身位置时是突变。

蜂窝、夹泥。声速与波幅均下降。若存在局部蜂窝、夹泥等缺陷,缺陷体积较小,且未包裹在检测的声测管,则下降的程度不会很明显;若蜂窝、夹泥等缺陷包裹在检测的声测管,则声速、波幅下降程度较明显,特别是波幅的下降尤其强

烈。通过斜测、扇测可以分辨与解决这些缺陷的位置及体积大小情况。

离析。粗骨料多而砂浆少地方,声速值高、波幅下降;粗骨料少而砂浆多地方正好相反。若抽芯芯样中砂浆表面光滑、连续完整、指甲刻不动、不透水,这种情况下声速只有轻微异常、波幅稍小、波形无畸变;若抽芯芯样不连续、有断口、指甲可划痕、透水,声速异常明显、波形有畸变现象。采用波速和振幅两个参数综合分析判断更理想。

4 结论

造成声波透射法检测混凝土灌注桩缺陷的漏判、误判等误差问题,原因有多种多样,也很复杂,不能一概而论。就目前现有科技,人为因素也是很关键。因此,要准确判断错综复杂的混凝土灌注桩缺陷类型,首先要求我们的检测技术人员要有过硬的理论基础,还要有丰富的检测经验。在检测数据分析过程中,应该采用以声速、波幅为主,以 PSD 值、频率、波形等为辅的综合判定方法,结合实际施工记录,综合研究分析,只有这样才有可能准确判断混凝土灌注桩的完整性情况,从而为委托单位提交可靠的检测报告。

参考文献:

- [1] 陈凡,徐天平,陈九照,等.基桩质量检测技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [2] 罗骥先.桩基工程检测手册(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 张宏,胡展飞,陈信春.超声波法检测混凝土桩基声学参数的应用分析[J].路基工程,2010(2):15-16.
- [4] 员宝珊.超声波透射法对灌注桩质量检测的判别及分析[J].甘肃科技,2010,26(19):119-122.
- [5] 朱德华,贾翠琴,樊士广,等.超声波透射法检测灌注桩中的误判现象分析[J].中国港湾建设,2010(4):18-20.
- [6] 邢哲,宛新林,宛传虎,贾伟凤.超声波透射法在基桩检测中 PSD 评定的应用研究[J].工程与建设,2011,25(4):520-521.
- [7] 赵赛雷.灌注桩超声波检测方法 with 质量缺陷判断技术研究[J].黑龙江交通科技,2014(2):103,105.
- [8] 郭文龙,韩之江,赵雷,刘志华,郝海峰.混凝土桩基础超声波探缺原理及典型缺陷对比验证分析[J].山西交通科技,2013(3):70-73.
- [9] 李晓明.超声波法检测钻孔灌注桩技术应用[J].河南建材,2011(2):11-12,14.