

# 山区地质嵌岩灌注桩桩端性状的检测

黄 阳<sup>1, 2</sup>, 施 峰<sup>1, 2</sup>, 林清意<sup>1, 2</sup>, 曾 文<sup>1, 2</sup>

(1. 福建省建筑科学研究院, 福建 福州 350025; 2. 福建省绿色建筑技术重点实验室, 福建 福州 350025)

**摘 要:** 嵌岩灌注桩桩端性状对其承载力有很大的影响。结合一个多种方法测试的工程实例, 对山区地质的嵌岩灌注桩嵌岩性状的检测判定进行了研究。提出了低应变法检测的反射波形态和幅值, 会受混凝土-岩强度比值和锤重影响; 同时, 在桩长一半处, 若存在扩径或嵌岩的反相位信号, 将会在桩顶形成正相位的二次反射信号, 影响桩底反射的判别。还介绍了一些钻芯法判定嵌岩性状的工程经验, 提出摄像法监测进尺、回水情况的建议。

**关键词:** 嵌岩桩; 低应变反射波法; 混凝土-岩强度比值; 锤重; 二次反射

**中图分类号:** TU47

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2013)S2-1220-04

**作者简介:** 黄 阳(1971-), 男, 福建建瓯人, 高级工程师, 主要从事地基基础检测、监测、工程信息化、仪器开发等方面的研究。E-mail: hylejoy@163.com。

## Tests on tip status of rock-socketed cast-in-place piles in mountainous geology

HUANG Yang<sup>1, 2</sup>, SHI Feng<sup>1, 2</sup>, LIN Qing-yi<sup>1, 2</sup>, ZENG Wen<sup>1, 2</sup>

(1. Fujian Academy of Building Research, Fuzhou 350025, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Green Building Technologies, Fuzhou 350025, China)

**Abstract:** The bearing capacity of rock-socketed cast-in-place piles is affected significantly by their tip status. Based on an engineering case, the rock-socketed cast-in-place piles under mountainous geology are tested by using many methods. The judgments of pile tip status are analyzed. An opinion is proposed that the shape and amplitude of low strain reflection wave method are influenced by the strength ratio of concrete-rock and the weight of hammer. At the mean time, a secondary reflection signal with the same phase will be formed on the pile top if there is expanding or opposite phase rock-socketed signal at the half length of the piles, which will confuse the judgment of reflection at the pile tip. Experience of core-drilling test method for judgment of rock-socketed status is introduced. Some suggestions such as camera monitoring footage and backwater near the pile tip are also proposed.

**Key words:** rock-socketed pile; low-strain reflection wave method; strength ratio of concrete rock; hammer weight; secondary reflection

## 0 引 言

嵌岩灌注桩中有一大部分是承载力要求较高的端承桩, 其桩端性状对承载力的影响较大。在嵌岩桩的检测中, 一般采用低应变反射波法和静载、钻芯法点面结合的方式。

低应变法检测的优点是成本低、速度快, 一般用作完整性普查, 不能对桩端性状定量分析, 更不能给出承载力。目前的做法是: 采用低应变法对嵌岩的性状进行普查, 然后由曲线出发, 按理论嵌岩性状的优劣进行分级, 此后选择有代表性的桩进行其他方法的检测<sup>[1]</sup>。低应变曲线的分析与地质情况、施工情况等多方面因素有关, 在山区, 应当考虑岩层厚度较大、裂隙较发育的情况, 否则就有可能将桩端性状误判断。

本文对山区地质情况下冲钻孔嵌岩灌注桩作重点

研究分析, 提出混凝土-岩强度比, 裂隙发育影响及桩身中部入岩产生的二次反射对桩底反射幅值、形态的影响等判别注意点以及钻芯法对桩端沉渣检测的经验, 提出采用摄像法监测钻具进尺、回水颜色变化的建议。

## 1 低应变反射波法检测桩端性状的原理及分析

低应变反射波法检测是基于—维波动方程及其解答来实现的<sup>[2]</sup>。如图 1, 我们假定桩材料是均质的一维杆体。桩阻抗  $Z = \rho c A$  其中:  $c$  为桩的纵波波速,  $\rho$  为桩的密度。当波阻抗发生变化时, 研究图 1 的平衡

状态, 以  $Z_1, Z_2$  表示上下部分桩的波阻抗,  $V$  为质点运动速度, 用脚码 I 表示入射波, R 表示反射波, T 表示透射波:

$$V_R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot V_I \tag{1}$$

$$V_T = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot V_I \tag{2}$$

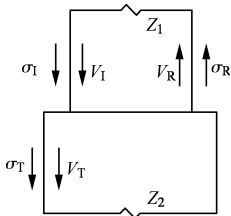


图 1 阻抗变化时, 入射、反射、透射波之间的关系  
Fig. 1 Relationship among incidence, reflection and transmission under change of waves impedance

当  $Z_1 < Z_2$  时, 即波从软材料进入硬材料时,  $V_R$  与  $V_I$  符号相反, 反射波与入射波相位相反, 如基岩嵌岩起始面, 扩径的上界面均是此相位特征。桩实测曲线见图 2。反之, 当  $Z_1 > Z_2$  时, 反射波与入射波相位相同, 对桩底则表现为嵌岩不良。桩实测曲线见图 3。

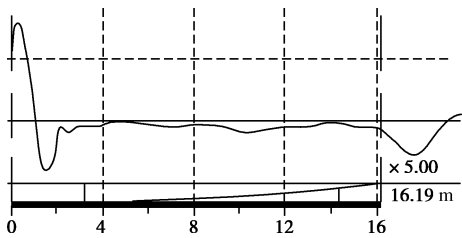


图 2 嵌岩良好的桩实测曲线  
Fig. 2 Low strain curve of well rock-socketed pile

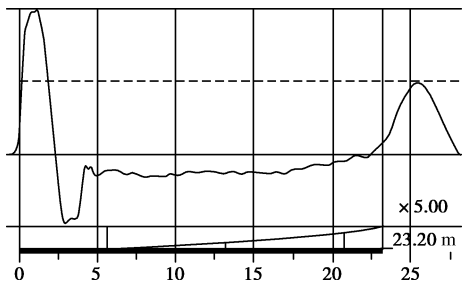


图 3 嵌岩不良的桩实测曲线  
Fig. 3 Low strain curve of poor rock-socketed pile

应力波到达了桩底, 并非截止了, 而是一部分继续向下传播, 一部分反射回到桩顶。对于桩端持力层较软的桩, 或沉渣较厚的桩, 反射波占绝大部分, 透射波仅占极小部分, 桩底以下的情况无法判断; 而对于施工状况良好的嵌岩桩, 则仍然有较大比例的透射波向下传播, 对桩底以下一定范围内的持力层性状判别仍然有价值, 有文献<sup>[3]</sup>提到能够实测得桩端岩层下一定范围内的溶洞。

另外, 一个现象也值得特别注意: 桩身中阻抗增大(扩径或进入较好土层)的反向反射的二次反射是与入射波同相位的。

阻抗增大段产生的一次反射压力波速度信号向上(负号)在回到桩顶时(桩顶设为自由端)变为拉力波; 再次向下反射, 到了阻抗增大位置第二次反射回到桩顶, 此时速度信号方向又一次改变, 变为正向, 上传到桩顶, 由传感器接收。如果这种阻抗增大恰好发生在  $L_1$  ( $L_1 = L/2$ ) 处, 则在曲线的  $2L/c$  处就会产生二次的同向反射波。

分两种情况说明: 情况 1, 如图 4, 桩底无沉渣, 桩身阻抗与岩层阻抗相匹配。实线为  $L_1$  处的反射, 粗虚线为桩底  $L$  处的反射, 由于桩底  $Z_1 \approx Z_2$  在桩顶产生的反射信号极弱, 此时桩底  $2L/c$  处的反射信号为  $L_1$  处的阻抗增大的二次反射所导致。情况 2, 如图 5, 设桩底性状稍差(少量沉渣或裂隙发育程度偏高, 但符合设计要求时)产生的小幅同相位反射, 此时可能因为  $L/2$  处阻抗增大引起的二次反射的叠加而使得正向幅值变得很大, 而事实上桩底性状尚可。

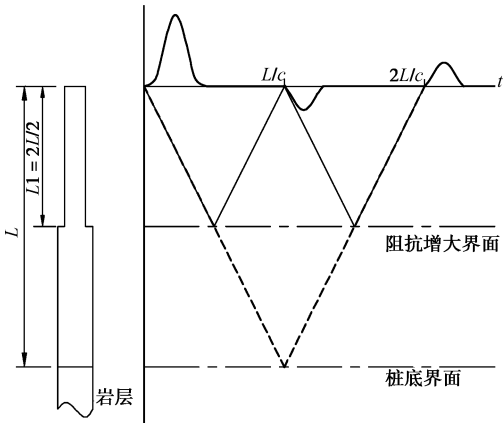


图 4 情况 1:  $L/2$  处阻抗增大的二次反射曲线  
Fig. 4 Secondary reflection signal under increase of impedance at  $L/2$

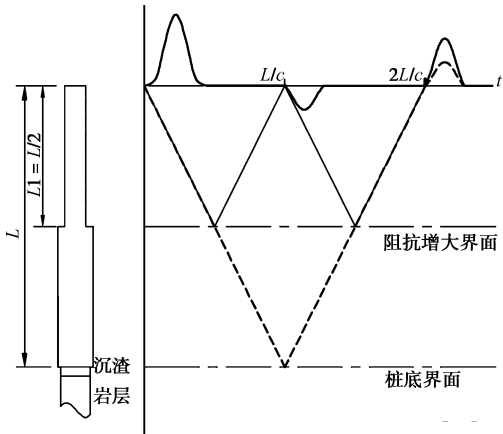


图 5 情况 2:  $L/2$  处二次反射与桩底信号叠加的情况  
Fig. 5 Superposed signal of secondary reflection under increase of impedance at  $L/2$  and pile tip reflection

## 2 钻芯法判断嵌岩性状的经验

钻芯法对嵌岩性状的判别,除通常钻芯法的注意点外,钻至桩底附近时,应该根据钻机及桩的施工情况,分配回次,以便使得桩底 0.5~1 m 左右的混凝土芯样和 0.5~1.0 m 左右的持力层及沉渣纳入同一回次。为检测桩底沉渣或虚土厚度,应采用减压、慢速钻进,观测钻机的标尺,若遇到钻具突降,应该立即停钻,测量机上余尺,然后继续钻进,这个过程有一定的突发性,要求检测人员有较丰富的经验,且其余人员不易见证。因此,最好的方法是用摄像机对准标尺进行拍摄,以便回顾瞬间发生的情况。

进入岩层时,回水的颜色会有变化,一般的岩层回水颜色较母岩的颜色偏浅,如:花岗岩层回水颜色为偏白色,一些岩层的回水颜色偏肉红色等,若回水颜色呈黄泥色则说明桩底有泥质夹层或沉渣。必要时,可用基桩孔内摄像法对取芯后的孔壁进行拍摄,特别是对混凝土和持力层交界处进行拍摄,以便取得原状的嵌岩性状<sup>[1,4]</sup>。

## 3 工程实例

### 3.1 工程概况

某山城拟建若干座 19 层框架剪力墙结构商品房,基础采用冲孔灌注桩,桩端设计持力层选择中风化花岗岩或中风化辉绿岩。场地土层简况自上而下为:①杂填土;②粉质黏土;③卵石;④残积砂质黏性土;⑤砂土状强风化花岗岩;⑥碎块状强风化花岗岩;⑦中风化辉绿岩,呈块状,裂隙发育,岩体较破碎,岩石单轴饱和抗压强度平均值 33.7 MPa。

各土层的物理力学指标和设计计算参数见表 1。

表 1 主要土层的物理力学指标

Table 1 Indexes of physical and mechanical properties of main soils

土 层	重度 $\gamma$ /( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	黏聚力 /kPa	内摩 擦角	$q_{\text{sk}}$ /kPa	$q_{\text{pk}}$ /kPa
粉质黏土	17.0	—	—	25	—
卵石	19.0	—	—	60	—
残积砂质黏性土	18.8	27.55	23.24	30	—
砂土状强风化花岗岩	21.0	—	—	85	—
碎块状强风化花岗岩	22.0	—	—	120	6000
中风化辉绿岩	25.0	—	—	130	10000

### 3.2 检测情况

按设计要求,对本工程项目  $\Phi 800$  及  $\Phi 1000$  两种桩径各进行了 3 根桩的单桩竖向抗压静载试验,  $Q-s$  曲线呈缓变形,承载力满足设计要求。

在低应变法进行桩身完整性检测时,为获取较好的桩底信号,根据桩径、桩长及桩周土层情况采用 7.2 kg 力棒(美国仪器标配力锤仅 1.5 kg)发现 10 根桩桩底存在明显的与入射波同相位的反射信号。按照《建

筑基桩检测技术规范》<sup>[5]</sup>的规定,对于嵌岩桩,桩底时域反射信号为单一反射波且与锤击脉冲信号同向时,应采取其他方法核验桩底嵌岩情况。而在广东省标准中规定:嵌岩桩桩底有同向反射信号时,桩身完整性应该判别为 III 类(明显缺陷桩)。经甄别,有 5 根是单一的与入射法同向明显的反射信号,其中 #41 桩反射幅值最大,实测曲线见图 6。

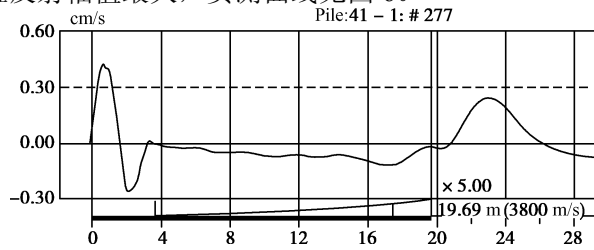


图 6 桩底单一同向反射的 #41 桩实测曲线

Fig. 6 Low strain curve of Pile 41: sole reflection of same phase near pile tip

#41 桩芯样照片见图 7,桩身芯样呈长柱状,连续、完整、胶结良好,桩底无沉渣,只是桩底中风化岩样较破碎,但符合地质报告的描述。在相关几方见证的同时,采用摄像监测钻机进尺和回水情况(图 8),表明钻机钻进平稳,在桩端并无钻具突降情况,回水的颜色也无黄泥色,说明桩端基本没有沉渣。



图 7 #41 桩芯样照片

Fig. 7 Photo of core sample of Pile 41



图 8 对钻机进尺进行摄像监测

Fig. 8 Camera monitoring for footage of core-drilling method

下文针对这种低应变法检测与钻芯法检测的“矛盾”进行了研究分析。

### 3.3 情况分析

#### (1) 锤重的影响

低应变检测的桩底反射幅值受到锤重的影响。一般对同一根桩,同一检测位置,同一放大倍数,锤重越大,反射信号的幅值越大。

本例中,图 6 和图 9 均为 #41 桩同一位置,放大 5 倍的检测信号,所不同的只是图 6 采用的是 7.2 kg 力

棒, 而图 9 采用的是 1.5 kg 小力锤。如果采用同一幅值评判标准, 则可能会对同一根桩有两种结论, 可能直接判断为轻微缺陷。因此, 对不同的锤重要有各自的幅值评定标准, 应该在实际工作中对不同桩长、桩径、土层进行对比、积累经验。

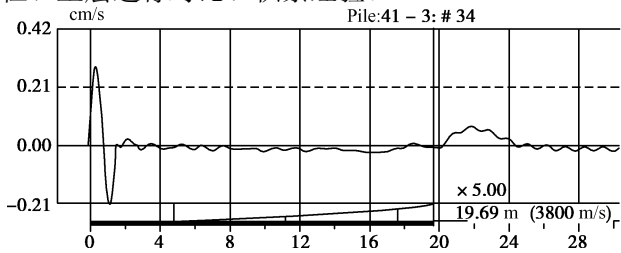


图 9 #41 桩 1.5 kg 小力锤敲击放大 5 倍的实测曲线

Fig. 9 Low strain curve of Pile 41 with hammer weight of 1.5 kg and amplification of 5 times

#### (2) 桩身混凝土 - 岩石强度对比影响

随着商品混凝土的质量不断提高, 一些施工条件好、水平高的桩身混凝土强度往往远高于设计强度, 而且致密、连续, 对应力波的传播非常有利, 综合阻抗会有很大的提高。相反, 中风化岩层的强度并非很高, 而且, 对中风化岩层的岩体完整程度分为完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎 5 种, 后 3 种有较多或很多发育的裂隙, 对应力波的传播速度都有影响。

本工程中, 设计桩身混凝土强度为 C30, 但芯样抗压试验表明, 芯样抗压强度代表值为 50.9 MPa, 其中一个试件竟达到 82.2 MPa, 远高于设计强度。而根据地质报告持力层的岩石单轴饱和抗压强度平均值 33.7 MPa, 同时岩体裂隙发育, 岩体较破碎。

虽然应力波波速和强度之间没有一一对应关系, 但它们的整体趋势是正相关的。因此, 对嵌岩桩, 不能认为一定会在桩底产生因阻抗增大的反向反射, 特别是对于岩体较破碎的岩层更是如此。

#### (3) $L/2$ 处阻抗变化的影响

本工程中, 有不少桩在  $L/2$  处阻抗存在增大的现象, 其二次的正向反射加强了桩底的同相位反射信号。如图 10, 对这种情况的桩的桩底反射幅值, 应考虑扣除二次反射信号叠加的因素, 才能较准确地对桩底性状做出判断。

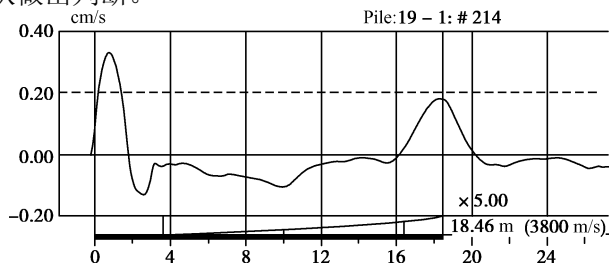


图 10  $L/2$  处有阻抗增大的信号的 #19 桩

Fig. 10 Low strain curve of Pile 19 under increasing signal of at  $L/2$

在山区, 往往在较浅处即进入岩层, 会引起阻抗增大的现象, 在检测中要注意。

## 4 结 论

(1) 低应变法检测的桩底的反射波形态和幅值会受桩身 - 岩石强度比值和锤重影响。

(2) 在桩长一半处, 若存在扩径或嵌岩反相位信号, 将会形成正相位的二次反射信号, 影响桩底反射的判别, 这一点在山区地质条件下最容易发生, 应予以注意。

(3) 钻芯法对嵌岩性状的判别应注意进尺寸细节和回水的颜色变化, 可摄像记录, 必要时可对钻芯孔采用孔内摄像法辅助分析。

(4) 工程经验有其适用条件, 嵌岩桩一般为承载力较大的桩, 当低应变检测存在桩底同相位反射时, 除进行分析、参考类似工程经验外, 还是应根据工程具体情况, 采取其他方式进行验证。

## 参考文献:

- [1] HUANG Yang. Multi-methods testing on tip faults of rock-socketed cast-in-place piles: the application of stress-wave theory to piles: science, technology and practice[M]. Lisbon: IOS Press, 2008, 6(1): 681 - 685.
- [2] 陈 凡, 徐天平, 陈久照, 等. 桩基质量检测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003: 104 - 119. (CHEN Fan, XU Tian-ping, CHEN Jiu-zhao, et al. Technology for testing of building foundation[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003: 104 - 119. (in Chinese))
- [3] 刘伟强, 刘永翔. 低应变法检测嵌岩桩的几点认识[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2004(3): 58 - 60. (LIU Wei-qiang, LIU Yong-xiang. Several Viewpoints on testing bearing pile with low strain method[J] Journal of Guangdong Communication Polytechnic, 2004(3): 58 - 60. (in Chinese))
- [4] 施 峰, 黄阳. 桩基孔内摄像检测技术的研究与应用[J]. 福建建设科技, 2006(3): 8 - 10. (SHI Feng, HUANG Yang. Study and application of video monitor test in the hole of pile foundation[J]. Fujian Construction Science & Technology, 2006(3): 8 - 10. (in Chinese))
- [5] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003. (JGJ 106—2003 Technical code for testing of building foundation piles[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003. (in Chinese))