

利用超声波图像检测提取钻孔参数

陈晶晶, 王润田

(中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

摘要: 利用超声波对钻成孔进行检测, 可以直观地给出钻孔的垂直度、孔径等参数。但是, 目前的超声波钻孔检测设备只能给出钻孔的观测图像, 而要得到孔径和垂直度等参数, 需要从回放的数据中读取(比如中科院东海研究站研制的 UDM100Q 钻孔检测仪), 或从打印输出的图纸上测量(比如进口的超声波钻孔检测仪)。通过对超声波成孔检测记录图用数字图像处理方法进行提取, 提取出钻孔的孔壁线, 并使其坐标映射到实际测量的坐标范围, 从而能通过提取壁线的坐标计算出孔径、垂直度等参数。

关键词: 超声波检测; 边缘提取; 钻孔

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2010)-02-0167-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2010.02.010

A method of extracting parameters of drilling hole based on ultrasonic image detection

CHEN Jing-jing, WANG Run-tian

(Shanghai Acoustics Laboratory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China)

Abstract: The image of drilling hole can be intuitively given by using ultrasonic detection. However, some methods which need to be used for getting the parameters from the directed image, such as playing back data of UDM100Q and measuring data from the printed drawings of some other imported instruments. An improved method, with which the edge of the drilling hole can be automatically extracted by using digital image processing of ultrasonic detection records, is proposed, and the coordinates of the edge are transformed into the coordinates of actual measurements in order to calculate the parameters such as aperture and verticality of the drilling hole.

Key words: ultrasonic detection; edge extraction; drilling hole

1 引言

利用钻孔灌注桩来加固工程基础的工艺已经在许多大型工程广泛使用, 甚至还普及到了民用建筑工程上。为了达到设计指标要求, 在基础施工中往往要采用超声波技术对钻成的孔进行成孔检测或在钻进过程中进行过程监测, 以保证成桩后的荷载能力等质量指标^[1]。由于钻孔施工是在地下施工, 无法直观感觉钻成的孔垂直与否, 所以钻孔灌注桩成孔检测变得尤为重要。利用超声波技术对钻成孔进行检测的原理是: 向四周发射的超声脉冲遇到壁面反射, 通过记录发射与接收到回波的时间差来计算距离; 再通过对不同深度的测量, 就可以得到若干个方位上孔壁的剖面图。该孔壁剖面图一般可以清楚地给出孔壁的状态, 但不能直接给出孔径和垂

直度的量化数据, 而要想得到孔径分布和垂直度的具体数值, 或者计算孔的需要量的数据, 传统的做法是在测量仪器的记录图纸上通过手工测量, 再计算出所需要的垂直度和某个深度上的孔径; 虽然 UDM100Q 超声波钻孔检测仪对此做了改进, 增加了数据回放功能, 通过数据回放, 可以比较方便地用鼠标在屏幕上完成数字量的提取和孔径参数、垂直度的提取。但是这样的处理不仅麻烦, 而且不可避免地产生许多人为的误差。本文采用图像处理方法, 在一定程度上实现了孔壁参数的自动提取和计算。无论是对早期的进口设备产生的电火花打印图, 还是 UDM100Q 超声波钻孔检测仪给出的 PDF 格式的数字图像, 都可以进行处理^[2], 与传统方法相比, 不仅方便, 而且在一定范围内减小了误差, 提高了检测的准确度。

2 钻孔孔壁线提取方法

图 1 是中国科学院声学研究所东海研究站研制

收稿日期: 2009-04-22; 修回日期: 2009-08-08

作者简介: 陈晶晶(1983-), 女, 广西人, 硕士研究生, 研究方向为声学
与声信号处理。

通讯作者: 王润田, E-mail: wangrunt@sh163.net

的 UDM100Q 超声波钻孔检测仪给出的一个实际钻孔的检测记录图, 该孔的上部设计孔径为 3.2m, 下部变径为 2.5m, 由于钻孔中的泥浆密度接近 1.3, 所以混响干扰比较严重^[3]。之所以选择这个图是因为这个图并不是一个很理想的观测记录, 该记录上部由于观测时的增益调整过度, 造成图像上有明显的强度突变, 同时下部又具有变径的特点。为了不失一般性, 所以选取了这样一幅记录, 通常遇到的钻孔检测记录要比图 1 简单一些。本文介绍的孔壁线的提取方法对于原始的超声波观测图像没有特别的要求, 只要观测记录上具备有以下条件即可: (1) 有明显的刻度标记, 能比较准确显示出不同深度截面的孔径(槽宽)及孔(槽)壁的形状; (2) 标记检测时间、设计孔径(槽宽)、检测方向及孔(槽)底深度; (3) 孔壁图像应有一定的信噪比, 也就是不能过分模糊, 甚至看不清井壁图像。一般而言, 以前进口的设备可能只有图像, 没有严格的深度刻度数据和径向刻度数据, 这也不影响本文提出方法的使用, 只要将图像对应的这些数据输入进去即可。本文提出的方法也同样适用于进口设备给出的电火花记录的图像的处理。

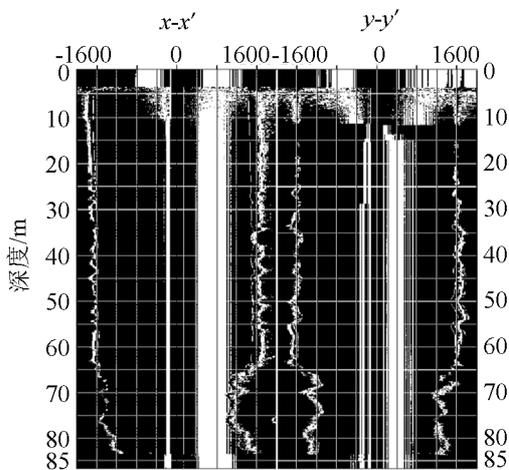


图 1 金塘大桥 85m、深 3.2m 孔检测记录图
Fig.1 Detection records of Jintang Bridge

图 1 中在径向刻度±1600mm 附近处有四条线, 这就是对应四个方位上的井壁剖面线。只要设法提取出这四条剖面线, 并对它们分别进行适当处理使之没有断点, 就可以进行孔径参数的计算了。利用超声波技术对钻孔孔壁进行检测时一般是在四个正交方向同时观测(如图 1 所示的 $x-x'$, $y-y'$), 可以把图形分成两部分来处理, 即 $x-x'$ 和 $y-y'$ 两部分。此外, 还可以截取图中任何感兴趣的部分来处理, 下面就以图 1 中 5~85m 这一部分为例来说明本文的方法。

2.1 图像预处理

一般得到的记录图多为有噪声的伪彩色图, 先把图像转化为灰度图, 再进行滤波处理, 减少噪声的干扰。对于这种既要滤除噪声, 又要保持边缘信息的滤波, 一般采用中值滤波方法, 可以利用 MATLAB 软件中的 `medfilt2` 函数进行。中值滤波是一个含有奇数点的滑动窗口, 将窗口中心点的值用窗口内各点灰度的中值代替, 这是一种非线性滤波器, 能较好地保留原图中的跃变部分。在中值滤波后, 图像的边缘或多或少会有一些模糊, 为了得到较为清晰的边界, 可用 `sobel` 算子对图像进行锐化, `sobel` 算子按下列算法变换图像的灰度值:

$$g = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (1)$$

$$S_x = [f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1)] - [f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)] \quad (2)$$

$$S_y = [f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1)] - [f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)] \quad (3)$$

式中, $f(i, j)$ 为图像中像素点 (i, j) 处的灰度值。

用 `sobel` 算子锐化图像可以对图像中的随机噪声进行一定的平滑, 得到的边缘粗而且亮, 有利于后面的操作。

通常, 记录中可能有噪声造成的虚假记录, 表面上看类似井壁线, 比如由于泥浆中有大量的悬浮沙粒时, 记录上往往会有由于混响造成的干扰条纹。这就需要抑制那些零碎的或是虚假的边缘。经过上面的处理后, 再用 `matlab` 函数 `im2bw` 把得到的图像二值化; 然后根据 8 连通的特性用 `matlab` 函数 `bwlabel` 把属于边缘且连通的像素分别找出并标识好(`bwlabel` 函数的功能是实现连通成分的标记, 即给不同的连通量标上不同的数字, 在二值图中, 是把灰度值为 1 的连通量分别标记出来); 让距离在一定范围内的两连通量连接起来, 合为一个连通量; 再把像素数目少于一定阈值的连通量删除。经过这些处理后, 得到的图像就是几乎只有几条孔壁线的图像了。

为了得到更准确的单像素的边缘, 在进行以上处理之前, 可先直接对最初灰度图提取边缘作为参照边缘留待下面用。提取边缘的方法有很多, 这些方法很大一部分是基于图像灰度梯度的。这里选用的是 `canny` 算子^[4], 这个算子是由 `canny` 于 1986 年提出的。该算子的基本思想是: 先对处理的图像选择一定的高斯滤波器进行平滑滤波, 抑制图像噪声; 然后采用“非极值抑制”(Nonmaxima Suppression)技术, 细化平滑后的图像梯度幅值矩阵;

最后利用双门限检测通过双阈值递归寻找图像边缘点, 实现边缘提取。

Canny 算子的算法步骤可描述如下: (1) 输入图像; (2) 对图像进行高斯平滑; (3) 计算图像的梯度; (4) 对梯度图像进行非极值抑制处理; (5) 对处理后图像用双门限检测的方法检测边缘; (6) 输出边缘图像。

Canny 方法较其它方法而言, 不容易被噪声“填充”, 由于采用双门限的方法更容易检查出真正的弱边缘。使用 canny 算子提取出来的边缘虽较精确, 但是同时也引入了由于灰度微小变化而形成的无用边缘。

最后用前面处理好的图像与提出的参照边缘图像作“与”运算。这样得到了初步的提取结果。

2.2 边缘线拟合

如果原始记录信噪比不高的话, 用 2.1 节中的方法得到的边缘线可能有许多断点和零碎虚假的边缘, 于是就要对初步处理后的边缘再进行进一步的处理。根据所得到的图像, 利用多项式拟合的方法对感兴趣的四条边缘线进行拟合。对于图像中一些突变或断点, 可以根据线条趋势或走向进行拟合。拟合后, 感兴趣边缘线的连通像素数目变多, 就可以再删除连通像素数目少于一定阈值的零碎或虚假边缘, 直到只剩下主要边缘和像素连通量大于边缘或和边缘差不多的线。这样, 孔壁线就基本上被提取出来了, 孔壁线提取的结果如图 2 所示。

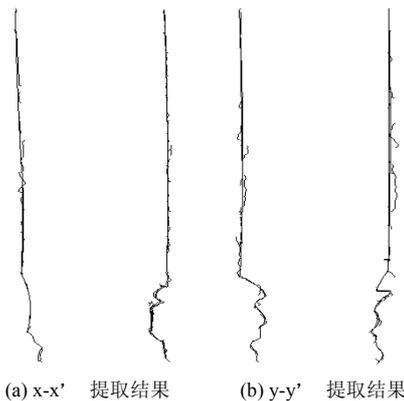


图 2 提取的孔壁线

3 参数计算

把提取好的孔壁线再按 8 连通的特性进行标识, 这样同一条孔壁线上的每个点都被标上了同一个数字记号, 再把这些具有相同数字记号的点的坐标提出来, 即可得到孔壁线的坐标。把这些坐标映

射到实际所取的测量范围内(本文截取的图对应的高度为 5~85m, 宽度为-4000~4000mm, 即每个方向为-2000~2000mm)。从图 2 看到, 拟合后的孔壁线上有许多毛刺, 为此在映射坐标时采用平均的方法进一步滤除毛刺, 映射后的井壁线如图 3 所示。接下来就可对由图 3 给出的孔壁线计算工程所需要的成孔参数。

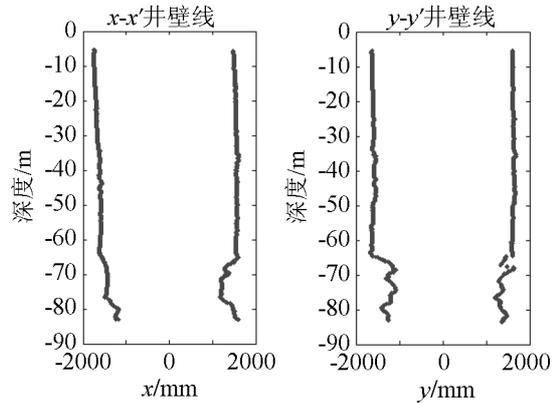


图 3 坐标变换后的井壁线

3.1 孔径的计算

在 $x-x'$, $y-y'$ 的四条壁线上的同一个深度分别取出一点, 这四点可表示为 $(x, 0)$, $(x', 0)$, $(0, y)$, $(0, y')$ 。根据这四点可以拟合出一个圆来, 这样也就得到了这一深度上的圆心坐标、圆的直径(即孔径)等信息。图 4 就是计算出的各个深度的孔径。

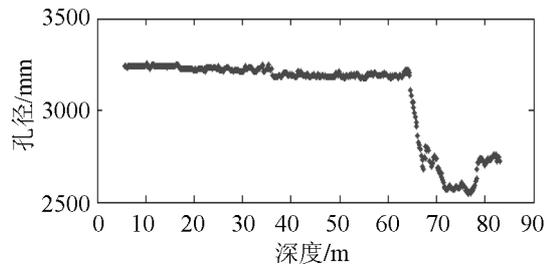


图 4 孔径随深度变化图

3.2 垂直度的计算

根据天津市建设管理委员会颁布的《孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程》^[5], 用超声波检测时孔(槽)垂直度 K 可按式(4)计算:

$$K=(E/L)*100\% \tag{4}$$

式中, E -孔(槽)的偏心距(m); L -实测孔(槽)深度(m)。

一般情况下, 记录图的孔心是设在 $(0, 0)$ (即超声波检测仪所处的位置), 然后根据 3.1 节计算孔径时得到的孔的信息, 可以计算出每个深度上孔心偏离 $(0, 0)$ 点的距离, 找出其中最大者, 也即上式所提到的偏心距 E 。再根据式(4), 垂直度就可计算出

来了(L 是已知的, 本文例中为 85m), 本文例图计算的结果为 0.31%。

4 结 论

通过孔径的计算结果能看出, 用本文方法所得的结果与实际是基本上吻合的。这种方法免去了人工手动测量的麻烦并降低了误差, 而且处理速度较快。同样, 该方法也适用于地下连续墙成槽检测中槽的各种参数的计算。

本文提出的方法是通过通过对现有的超声波钻孔检测仪的记录进行数字图像处理来获取钻孔参数。因此, 为了使得提取的参数具有良好的可信度, 对原始纪录的质量有一定的要求。即使由于地层的突变造成记录的不连续, 对处理结果影响也不大, 但是, 如果原始纪录过于模糊, 甚至无法辨认孔壁线, 那么提取的钻孔参数的可信度就会下降甚至无法

得到正确的参数, 这一点应该引起注意。

参 考 文 献

- [1] 杨志广. 钻孔监测仪在基桩成孔检测中的应用[J]. 石家庄铁道学院学报, 2005, 18(增刊): 37-39.
YANG Zhiguang. The Application of Boring Observation Instrument in the Foundation Pile Boring[J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute, 2005, 18(supp.): 37-39.
- [2] 余成波. 数字图像处理及其 MATLAB 实现[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003. 6.
YU Chengbo. Digital image processing and MATLAB [M]. Chongqing: Chongqing university Press, 2003. 6.
- [3] 梁鸿翔, 陈晶晶, 王润田. 自适应串扰噪声消除技术在小孔径钻孔超声波检测中的应用[J]. 声学技术, 2009, 28(3): 249-252.
LIANG Hongxiang, CHEN Jingjing, WANG Runtian. Adaptive noise cancelling in small drilling hole detection[J]. Technical Acoustics, 2009, 28(3): 249-252.
- [4] Canny J. A computational approach edge detection[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [5] DB 29-112-2004 J 10497-2005. 钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽检测技术规程. 天津市工程建设标准[S].