

桩基成孔智能检测平台的研究与设计

陈曦鸣,朱克亮,吴自明,王震海,徐宁

(国网安徽省电力有限公司建设分公司,安徽合肥 230001)

摘要:在高速公路、高层建筑、桥梁工程等工程中,桩基工程是非常重要的一个模块。而由于外部施工环境较为复杂,导致桩基质量控制难度较大。因此,以桩基成孔检测技术为研究主体,阐述了一种桩基成孔智能检测技术。通过超声波的频谱特征进行深入研究,利用Gabor变换对桩基检测采样信号进行预处理,并结合孔内视频图像采集信息由数据传输模块上传至数据分析软件,实现检测数据同步存档功能的同时,采用大数据分析在线修正单一设备分析结果的准确性,最终以图文并茂的方式再现数字化参数。实现桩基成孔参数精准测量和自动智能判别,同时系统后台支持多用户分权限登录,满足建设管理单位授权对监理单位、施工单位等多方人员同步实时获取检测结果。通过实际测试运行表明,该系统测量成孔参数准确性高,为类似桩基工程质量控制工作开展提供一定的借鉴。

关键词:成孔质量;频谱特征;Gabor变换;可视化;智能判别

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)09-0171-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.09.031

Research and Design of Intelligent Pile Foundation Hole Detection Platform

CHEN Xi-ming, ZHU Ke-liang, WU Zi-ming, WANG Zhen-hai, XU Ning

(Construction Branch of State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 230001, China)

Abstract: Pile foundation engineering is a quite important module in highways, high-rise buildings, bridge projects and other projects. Due to the complicated external construction environment, the quality control of the pile foundation is difficult. Therefore, pile-based hole detection technology as the research subject, we expound a smart pile foundation hole detection technology. Through the in-depth research work of the ultrasonic spectrum characteristics, the Gabor transform is used to preprocess the pile base detection sampling signal. Combined with the video image acquisition information in the hole, the data transmission module is uploaded to the data analysis software to realize the synchronous data archiving function. At the same time, the data analysis is used to correct the accuracy of the single device analysis result, and finally the digital parameters are reproduced in an illustrated manner. Accurate measurement and automatic intelligent identification of pile foundation hole parameters are realized, while the system backend supports multi-user sub-authorization registration and meets the authorization of the construction management unit to obtain the test results in real time by the supervisory unit and the construction unit. The actual test operation shows that the system has high accuracy in measuring the parameters of the hole, which provides a reference for the quality control work of the pile foundation project.

Key words: hole quality; spectrum characteristics; Gabor transform; visualization; intelligent discriminant

0 引言

混凝土土灌注桩是当前变电站和线路工程常用的地基处理方式,成孔质量是否满足设计和规范要求直接关系到混凝土浇筑成桩质量,对上部结构稳定起到决定性的作用^[1]。目前,规范当中对于桩基成孔之后灌注混凝土之前的各项指标检测方法基本依赖于人工检验,桩基成孔质量的验收控制精准度达标存在很大的局限性与不足。距离精准度的指标控制还有很大差

距,建设管理存在很大的技术盲区^[2]。如何方便、快速、精准地测出各项指标,克服上述问题的局限性和不足,通过计算机系统以图形形式把成孔及其各项指标参数显示出来成为关键。因此,对桩基成孔质量进行智能判别的研究显得非常重要。

1 桩基检测系统总体设计

利用超声波法进行桩基成孔质量检测^[3-5],系统

收稿日期:2019-11-13

修回日期:2020-03-16

基金项目:国家电网科学基金资助(JS20190700103)

作者简介:陈曦鸣(1972-),男,高级工程师,研究方向为桩基检测应用发展。

平台实现成孔倾向和倾角、孔深、孔径、垂直度、沉渣厚度、泥浆指标等参数采样,经数据传输模块上传至检测仪数据分析软件,以图文并茂方式再现数字化参数,并实时给出成孔质量分析结果。经检测仪采集的数据及分析结果经数据传输模块同时同步到在线检测云平台,实现检测数据同步存档功能的同时,采用大数据分析在线矫正单一设备分析结果的准确性。云平台支持多用户分权限登录,满足监理单位、施工单位、业主等多方人员同步实时获取检测结果。

1.1 检测技术的基本原理

对于超声波检测,其检测原理是根据孔的大小和规格要求选择适当数量的声测管,超声波发射和接收

换能器水平预置在声测管中,超声波发射一定频率的电脉冲,通过发送换能器转换成声波,声波到达孔壁后被反射回来,接收换能器接收带有关混凝土材料的性质、内部结构和组成成分的声波信号,再由接收换能器转换成电信号后实时传送到仪器进行收集,然后对主要的声学物理,例如传输时间,声音振幅和频率进行分析和处理,进一步判定孔径(槽宽)、孔(槽)深、孔(槽)壁垂直度^[6]。

1.2 检测系统总体构成

桩基成孔质量智能检测系统采用模块化设计,主要包括检测装置,绞车提升机构,控制分析终端,系统平台。系统架构如图 1 所示。

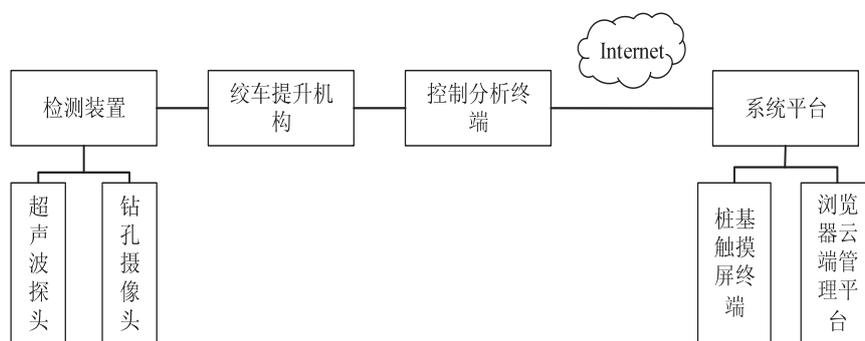


图 1 系统整体架构

1.2.1 检测装置

检测装置主要进行数据采集,包括超声波探头,钻孔摄像头。超声波探头对准孔内任一点垂直方向下降,脉冲信号发生器在超声波探头下降期间将一系列电脉冲发送至发射换能器的压电体,随之压电体将该电脉冲转换为超声脉冲并进行发射。它经过泥浆后被钻孔侧壁反射回去,由接收器接收后再转换为电信号上传到服务器。而钻孔摄像头在干孔内部进行图像采集,高清图像信息回传至服务端,能够辅助相关人员对岩层分布情况和充盈系数进行分析。

1.2.2 绞车提升机构

绞车提升模块需兼有手动和自动两种工作方式,速度可调。主机通过控制箱供电,当电力中断时可保存当前测试数据,通电后数据不丢失。在将超声波探头和钻探摄像机下降到待检测泥浆上部至底部的过程,记录孔的侧壁在两个或四个方向上的表面状态信号。

1.2.3 控制分析终端

分析终端即服务器端,通过 USB、串口或 CAN 总线等计算机通信方式对所述提升机构发送指令,控制电动机械进行运转,控制检测仪器探头或相关传感器进行数据采集等,并可同步实现自动计算各测点孔径值、偏移值和垂直度和沉渣厚度。根据超声波探头传输的超声波的发射信号被接收的反射信息经过数据处

理模块放大、滤波等信号处理后传至数据记录模块,记录整个钻孔的孔壁曲线,因为超声波在固定介质中是以固定的传播速度进行传输,因此可以假设超声波的探头到孔壁的距离为 L ,超声波在泥浆中传播速度为 V ,并且测得的实际超声波发射和接收的时间差为 t ,则距离可以根据公式 $L = 1/2V \cdot t$ 得到。通过超声波探头在垂直方向上进行不同深度方向的截面尺寸的测量,然后由数据记录模块同步绘制出各方向孔(槽)壁形态图。通过记录的形态图中的结果分析钻孔直径和垂直度等基本参数,通过超声波探头传输的超声波的频谱信息,分析孔底入岩深度,沉渣厚度,护壁泥浆质量等结果。通过钻孔摄像头回传的孔壁图像,桩身充盈系数判断进行辅助性验证,对需要验收的岩石锚杆基础、人工挖孔基础等关系到成孔质量的工艺进行可视化验证。

1.2.4 系统平台

系统平台包括桩基触摸屏终端和浏览器云端管理平台,以图形化方式实时显示传感器检测数据,如下降深度、当前位置孔径等,动态绘制数据曲线,并对检测异常情况进行图像及声音报警,并预留第二阶段桩身完整性检测的接口。另一方面,系统平台包含本地数据存储功能,对实时检测数据进行分析并存储,根据测量时间、地点、成孔编号等实现数据分组标记,以便数据管理系统后台集中管理。管理员可以通过软件图形

用户界面,使用触屏或鼠标方便快捷地对检测仪器参数进行设置,如对待检测成孔进行编号、配置检测仪器标定参数、配置设备运行模式、设定检测项目等,且所有设置参数可持久化存储。

2 数据处理算法设计

2.1 超声波孔底沉渣信号滤波

对桩基检测信号进行滤波可以提高回波信号的信噪比,是数据信号处理的第一步。在测量钻孔沉渣厚度时,由于对测量精度的要求比较高,需要抑制噪声以提高滤波时信号的信噪比,而且还要求不要引入其他干扰信号。

目前,Gabor 变换在生物、地震、语音、电网瞬变、电路放电等类信号的应用中都具有很好的时频局部化特性,另一方面,在生物识别、边缘检测、数据压缩、图像处理 and 机器视觉等领域应用中^[7-10],可以兼顾信号在时域和频域中的分辨能力。文中采用 Gabor 变换提取桩基检测信号的局部频域和时域信息,提高滤波系统鲁棒性。

文中采用的超声波换能器中心频率为 100 kHz,采样频率为 2 MHz,采样间隔为 0.5 μs。从图 2 中观察到沉渣与水界面(上界面)的回波,称为一次回波,回波之后是较小的振幅回波,该回波是沉积物和孔壁底部(下部界面)处的反射波,称之为二次回波。可以观察到,如果发射功率过大,会产生多次回波影响判断。如果发射功率降低,则二次回波衰减明显,主要是因为沉渣对超声的衰减比较大。

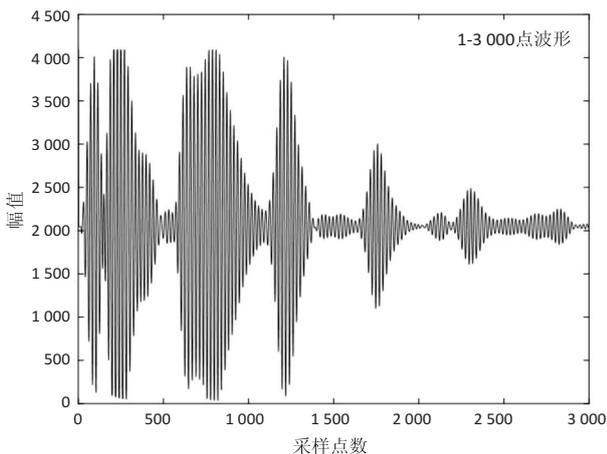


图 2 护臂泥浆悬浊液中波形情况

文中经过设置 Gabor 滤波器的各项参数,进行了 f_0 为 100 kHz 滤波结果分析,结果如图 3 所示。

从图 3 中可以看出,已经减少了滤波后信号中的噪声,并且在消除有效信号之间的静止区域波动的同时,可以很好地恢复源信号。滤波处理,可以为后续的弱信号增强、首波检测提供基础。

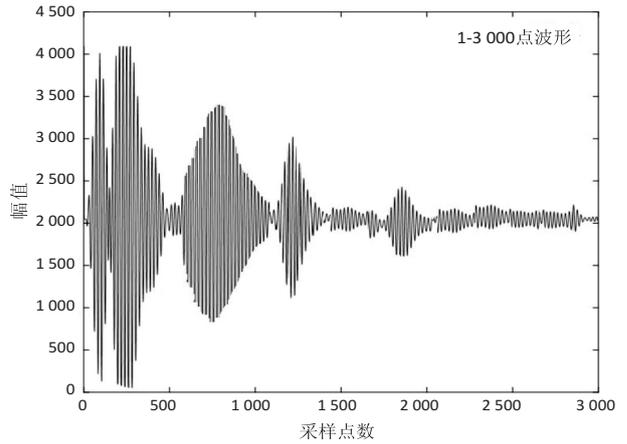


图 3 $f_0 = 100$ kHz 的 Garbo 滤波的结果

2.2 超声回波中的首波检测

超声检测时,超声波会在泥浆与沉渣的界面进行一次反射,经过沉渣与桶底的时候会进行第二次反射,通过检测两次反射波的时间差,即可算出孔底部的沉渣厚度。假设沉渣上下界面的反射波时差为 t ,沉渣中传播速度为 v (固定速度),则沉渣的厚度为 $d = 1/2 vt$ 。因此,只要分别确定超声波在上下两个界面反射回波的首波位置,就可根据公式计算出沉渣的厚度^[11-12]。

首波是声波的波头,其与随后的波一起形成整个波列。首波是声波的开始的象征,在分层媒介的检测中,其到达时间通常用于计算各层之间的时间差。因此,在基于声波的传播时间的检测中,最重要的是提取首波。首波的检测精度直接决定了时间差测量的准确性。由于首波幅度通常很小,造成了提取困难,很容易与系统噪声混淆,在高频超声波测量中检测首波更加困难。

文中通过阈值法进行首波的判定。通过大量的实验分析与验算,设置一个阈值即为首波的判定阈值,如果检测的信号幅度小于阈值,则认为该信号是噪声信号。如果信号幅度大于阈值,则将该信号视为声波信号,而第一个大于该预设阈值的即为首波。为了防止由大于阈值的单个噪声变化引起的误判,使用大于阈值的多个连续信号幅度来确认首波。而回波依据首波来进行界定,如图 4 所示。

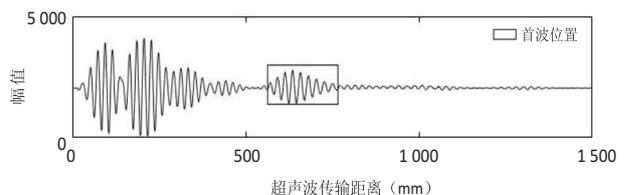


图 4 通过首波检测确定回波采样点位置

3 桩基检测系统软件实现

该系统软件采用模块化设计,分为机械部分、电子

硬件部分和软件部分^[13]。机械包含绞车、滑轮等;电子硬件部分包含各个电路控制板、电机、编码器等;软件包含服务器端、C/S 系统客户端和 B/S 系统客户端,主要包括以 C 语言开发的底层硬件驱动程序和平板电脑端应用程序。用户与上位机进行人机交互,控制电机运行和桩基参数数据采集与传输,上位机对桩基参数进行保存及显示。整个系统采用 RS485 通讯,完成控制命令及数据传输。其中上位机和下位机软件可单独调试,提高了系统开发的效率,灵活性更强。

3.1 下位机底层软件设计

下位机软件以代码调试器,主要实现对下位机硬件接口的驱动和控制和上位机的通讯交互。在考虑系统工作所需的时效性、安全性、稳定性,以及 MCU 片容量大小限制等因素的情况下,采用 STM32F405RGT6 处理芯片,下层计算机程序设计使用中和轮询的前端和后端模式。有效利用低功耗的高效中断处理,确保系统稳定工作^[14]。

工作流程如图 5 所示。下位机模块上电后,首先

启动程序初始化,完成 MCU 片上寄存器和系统控制单元的初始化,常规端口功能配置,中断模块配置以及每个变量的初始化定义;初始化工作完成后进入状态检测,判定成孔状态,依据干孔或湿孔进行桩基参数测量。当检测完成后,记录 X 、 X' 、 Y 、 Y' 的值,根据几何知识计算可得孔径信息。当桩孔倾斜时,传感器在下降过程中会偏离孔位的中心。假定从桩孔的中心位置 O' 到传感器位置 O 的距离是桩基础偏差。根据桩基偏移距离可以计算得到桩基偏移距离和倾斜角度,用于后续的数据矫正。首次采样时,上位机终端将桩基参数和仪器参数信息发送给下位机,同时发送采样指令,完成仪器的功能驱动和变量参数设置,然后驱动探针到达桩底并等待上位机终端反馈指令进行检测,检测完成后由六轴传感器进行参数矫正,最后数据打包上传,下位机系统复位。由此流程就由上位机端控制,进入绞车控制、数据实时采集、自动检测装置位置触发、数据上传处理分析的循环工作中。

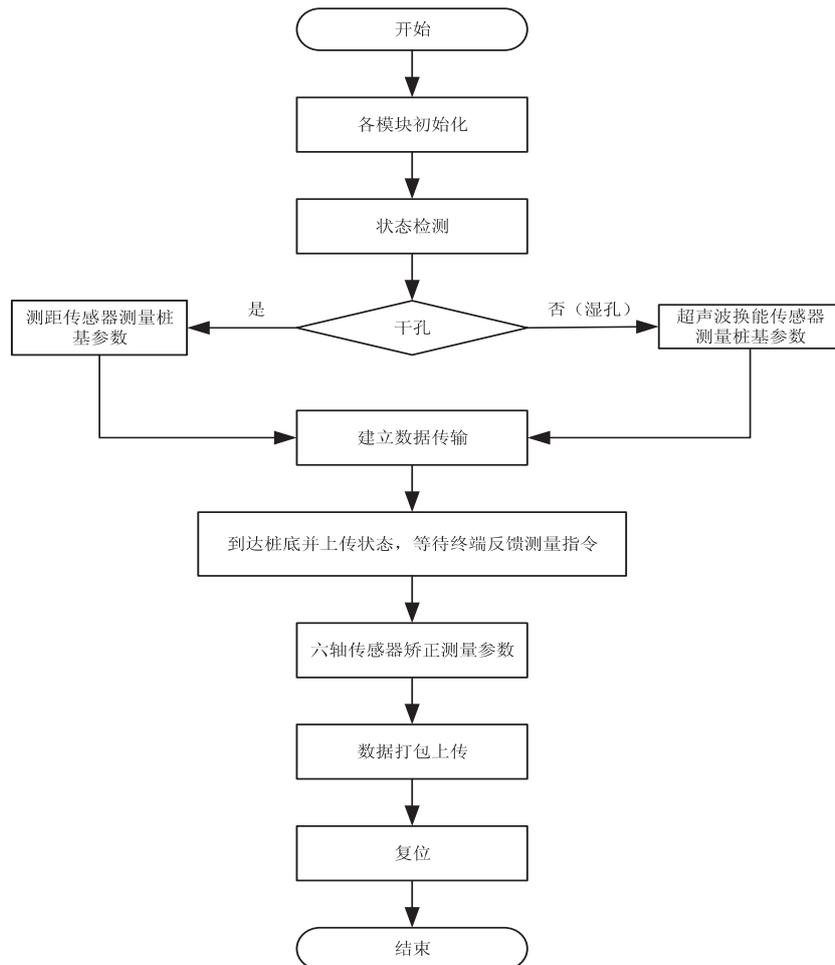


图 5 下位机软件工作流程

3.2 上位机交互软件设计

3.2.1 自动判别算法设计

检测数据的首波声时、声幅参数的准确判读是超

声波桩基成孔检测的首要问题,本系统中数据的处理分析工作集中在客户端。文中在阈值判别的基础上,设计了自动阈值判读法^[15],通过预设一个幅值阈值来

实现首波自动识别。在前期大量的实验分析中得到不同沉渣厚度范围下的声波阈值参数,预设的阈值通过在声波波形进行标定,程序将采集的数据进行消零处理,采集数据的绝对值与该预定阈值进行匹配,得到并记录首个大于该阈值的第一组数据的序列号,并向前搜索第一个零交叉点,将其记录为首波的时间点并确定首波幅值点。自动阈值判定法不再需要手动对声波波形进行阈值的光波标定,进而进行人工首波的筛查。在实际的实验中,自动阈值判读程序实现简单,且不会因采集波形前端畸变带来的干扰而造成人工误判情况,可以完全满足现场检测换能器的要求,提高了判定速度和识别精度。

3.2.2 人机交互界面设计

人机交互应用程序开发使用的是模型—视图—控制器模式,其中模型用来表明业务规则,视图是用户看到的界面,控制器是接受输入数据并完成任务要求。每个显示界面都由基本的活动组件加上配置文件组成,通过不同的适配器将外部数据绑定到组件上,实现当前事件的处理,完成现实操作控制。在每个组件定义相应的回调方法,实现不同界面之间的跳转和数据交换^[16]。

在考虑实际进行桩基检测可便操作性后,设计了简单直观的交互界面。如图6所示的主操作界面,可以实现绞车控制、探头上升降控制、实时测量参数、声波图形查看等基本工作,除主操作界面外,还有参数设置界面,可以进行探头参数、绞车参数、判定阈值参数等的设置与修改。文件管理界面可进行历史数据的查看和导出。波形查看界面可以更直观地看到检测数据,可以进行实时和历史查看。



图6 桩基成孔服务端界面

3.3 软件交互接口协议设计

在系统上位机与下位机的交互过程中,需要充分保证通信的稳定性和可靠性,以确保对指令的无误操作和数据的准确接收。在实现通信协议基本功能和不

影响通讯的效率的基础上实现简洁的接口协议^[17]。在接口协议设计中,简化了数据包的发送和接收解析。本系统使用表1中数据的完整帧格式,充分考虑了干扰或其他因素引起的误码影响。

表1 通讯协议帧格式

帧	内容
0	RS485ID
1	CMD
2~11	DATA1 ~ DATA10
12	CRC 低
13	CRC 高

传输数据按照通信协议帧格式,还需在数据段收尾加上诸如数据长度和校验码等字段,以便于接收者进行数据解析。发送数据前,对封装后的数据进行奇偶校验,并将校验值写入倾斜校验字段。接收到数据帧后,按照相同格式检查接收到的数据并进行验证,进而分析数据。数据传输过程中还需要设置一定的等待时间和重传次数限制,来保障通信率,避免丢包或者重传。接收器需要在最大等待时间内确认或拒绝该数据帧。只有在接收到确认帧之后,才进行下一次传输。否则,认为该帧数据丢包,需要被重发,并且设置相应的重发次数标志。当重发次数累加到一定阈值后,将该消息上传上位机,进行错误提示。

整个流程中桩基触摸屏终端首先向绞车模块控制终端发送启动控制指令,启动绞车运行。在绞车运行过程中,桩基触摸屏终端可以下发读深度指令至绞车模块控制终端及下发读孔径指令至数据采集模块控制终端,以上过程无需反馈。当数据采集模块控制终端到达桩底时,需要主动向C申请停止,同时桩基触摸屏终端必须给与停止反馈。当桩基触摸屏终端需要主动结束绞车模块控制终端,则同时需要绞车模块控制终端反馈是否收到结束指令。在限定时间内没有收到回复内容的,需要重发指令并适当的给出报警指示。

4 实验仿真与模拟

在桩基成孔模拟检测时,采样频率设定为100 Hz,信号增益设定为自动增益。超声波传感器浸入钻井泥浆中,传感器探头同时对四个方向上发射超声波。超声波在泥浆中传播后遇到孔壁时被部分反射回来,经接收器接收。通过时间差和传播速度计算得到孔壁的距离,并将其记录在显示屏上。图7为连续的测试记录形成的孔径图像。结果显示该孔的工程桩身总长20.4 m,沉渣厚度5 m,最小直径77 mm,最大倾斜度1%,试验测得结果与实际结果一致。



图7 上位机实时检测界面

5 结束语

针对目前缺乏先进准确的成孔质量检测仪器的现状,提出成孔质量的超声波检测方法,并围绕超声信号在桩基检测过程中的信号滤波、波形增强和首波检测等问题开展了相应的研究工作。设计了智能硬件检测电路和人机交互操作系统,形成了一套智能超声桩基成孔检测系统平台,使施工人员通过便携式智能设备更加全面、专业、直观地获取到成孔质量参数,实现自动化技术判别。最后,系统将进一步改进检测算法,实现对更多种类的成孔质量参数的检测,为建设管理提供强力有效的技术支撑。

参考文献:

- [1] 杨 朋. 桩基检测技术在建筑工程中的应用[J]. 城市建设理论研究:电子版,2016,6(8):210.
- [2] 朱启蔚. 浅析桩基检测中若干问题[J]. 低碳世界,2015(31):129-130.
- [3] LIU Jiasheng. The application of elastic wave reflection method in the pile foundation inspection[J]. Advanced Materials Research,2012,594-597:1109-1112.
- [4] 王 争,胡先进,颜 静. 超声波法在桩基检测中的应用[J]. 黑龙江交通科技,2016,39(4):104-105.
- [5] 范 瑛,郑 光,贺映全,等. 管距对桥梁桩基超声波检测干扰影响分析[J]. 湖北工业大学学报,2016,31(4):109-112.
- [6] 邱玉航. 浅谈超声波法在桩基检测中的应用[J]. 科学技术创新,2017(15):246.
- [7] 黎向阳,吴敏华,施智平. 基于 Gabor 变换域的积分直方图鞋印图像检索[J]. 计算机应用与软件,2015(3):215-219.
- [8] LIU Tao, YAN Shaoze. Vibration analysis of a deployable structure using constant-Q nonstationary Gabor transform and Fourier transform[J]. Noise Control Engineering Journal,2018,66(2):78-89.
- [9] ASCENSI G. Sampling measures for the Gabor transform[J]. Journal of Approximation Theory,2015,200:40-67.
- [10] 叶顶胜,赖春红,胡培毅. 基于 FPGA 的短窗-长窗能量比首波检测技术[J]. 重庆科技学院学报:自然科学版,2012,14(1):137-139.
- [11] LIU Chenying, HE Lin, LI Zhetao. Feature-driven active learning for hyperspectral image classification[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2017,56(1):341-354.
- [12] 赵 阳. 便携式超声透射法灌注桩基检测系统设计与实现[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [13] 杨 雄,何忠意,齐昌广. 内力测量新技术在灌注桩试验中的应用研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2016,35(5):85-91.
- [14] 朱宏伟,蔡德钧,陈 锋,等. 桩基施工过程自动监测系统研发及应用[J]. 铁道建筑,2017,57(12):71-74.
- [15] WADA K, KARASAWA S, KAWATA K. Foundation pile and cavity detection by the 3D directional borehole radar system, ReflexTracker[C]//16th international conference of ground penetrating radar 2016. Hong Kong:IEEE,2016.
- [16] 李尤丰. 工程类系统通用开发平台的研究与设计[J]. 计算机技术与发展,2013,23(2):162-164.
- [17] 郑森炎. 模块化仪器系统的嵌入式主机软件构建与实现[D]. 杭州:浙江大学,2017.