



20万吨级深水板桩码头 新结构质量检测技术*

陆俊^{1,2}, 胡少伟^{1,2}, 范向前^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098)

摘要: 基于新型深水板桩码头结构质量传统检测技术, 介绍探地雷达、冲击回波、地震波 CT、钻孔电视等新型检测技术。结合工程实例, 讨论新型检测技术在深水板桩码头卸荷板质量、剩余水头、水下梁板质量、地下连续墙质量检测中的应用, 为板桩码头的全面或专项检测提供技术指导, 提高板桩码头建设与运营期的安全保障水平。

关键词: 板桩码头; 新结构; 新型检测技术

中图分类号: U 656.1⁺12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0059-06

Quality inspection technique for new structures of 200 000 DWT deepwater sheet pile wharf

LU Jun^{1,2}, HU Shao-wei^{1,2}, FAN Xiang-qian^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the traditional testing technology of the new deepwater sheet pile wharf structure, we illustrate new testing technologies of ground penetrating radar (GPR), impact-echo method, and seismic wave CT. Through the project example, we probe into the application of the new testing technology for inspection of the qualities of unloading-board, underwater beam-slab and underground continuous wall, to provide a technical guidance for the overall or special detection of the sheet pile wharf and improve the safety ensurance of construction and operation of the sheet pile wharf.

Keywords: sheet pile wharf; new structure; new inspection technique

板桩码头是港口码头的主要结构形式之一, 适用于天然泥面较高、挖入式港池建造码头的情况, 可避免大挖大填的弊端。近年开发的新型板桩码头结构, 其主要形式有遮帘式、半遮帘式和分离卸荷式^[1-3]。遮帘式(半遮帘式)板桩码头是在传统板桩码头结构的前墙后侧设一排遮帘桩(半遮帘桩), 利用遮帘桩(半遮帘桩)的挡土作用及拱效应减小前墙承受的土压力, 从而获得加大码头水深、建设大型深水泊位的条件(图1~2)。分离卸荷式板桩码头是用卸荷承台来减小前墙的土压力和内力, 承台位于地面以下较低的位置,

以便起卸荷板的作用, 承受上部的土重及荷载, 从而减小前墙的土压力^[4-5](图3)。

作为新的结构形式, 遮帘式、半遮帘式、分离卸荷式板桩码头结构设计尚无规范可依, 其超深钢板桩或地下连续墙、锚锭墙、拉杆等结构的施工质量是确保工程安全的关键, 其质量检测和评估技术是深水板桩码头技术开发的难点之一。因此, 笔者针对深水板桩码头的新型结构, 提出板桩码头新结构施工期和运行期工程质量检测技术和方法, 为超大吨位深水新型板桩码头工程的实践提供技术支撑^[6-7]。

收稿日期: 2014-12-17

*基金项目: 国家高技术研究发展计划“863计划”(2012AA112510)

作者简介: 陆俊(1981—), 男, 博士, 高级工程师, 从事水利、水运工程科研工作。

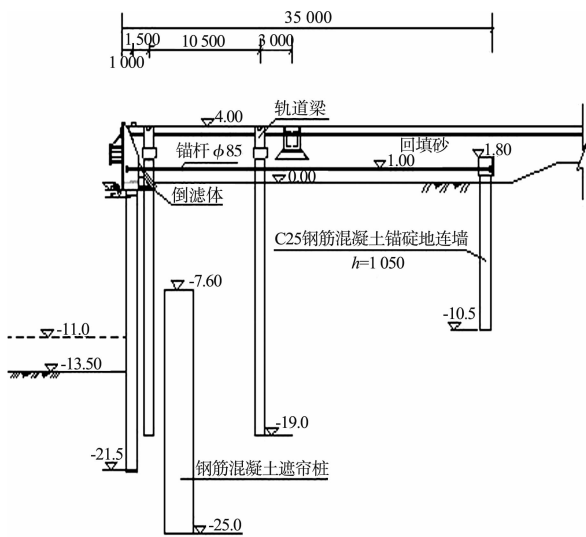


图1 遮帘式板桩码头结构 (高程: m, 尺寸: mm, 下同)

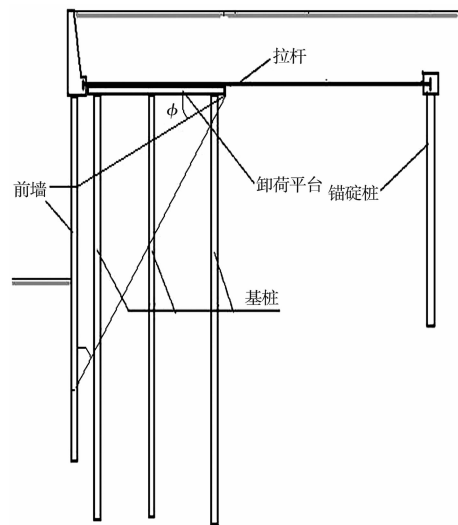


图3 分离卸荷式板桩码头结构

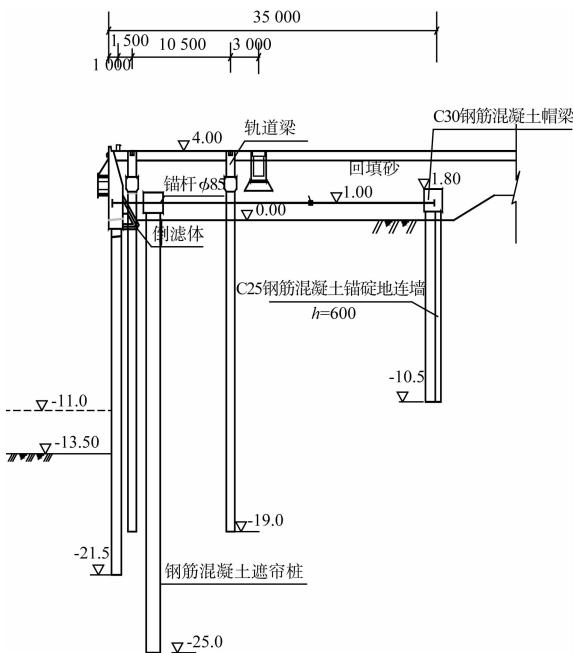


图2 半遮帘式板桩码头结构

1 新型板桩码头结构质量检测技术

1.1 传统检测技术^[8-10]

1) 钻芯法。

在基坑开挖前在自然地表对其进行钻芯法检测, 每个孔的芯样中截取并制作成芯样试件, 在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的清水中浸泡 40 ~ 48 h 后取出进行抗压强度试验, 取同一幅墙不同深度位置的一组混凝土芯样试件抗压强度代表值中最小值为地下连续墙混凝土芯样试件抗压强度代表值。

2) 注水试验。

利用钻芯法检测后的钻芯孔进行现场注水试验, 利用注水器具向注水孔中注入清水, 并测量孔中初始水位, 根据水位变化定性评价地下连续墙的整体抗渗性能。

3) 声波透射。

超声波透射法检测是采用超声脉冲发射源在混凝土内激发高频弹性脉冲波, 并用高精度的接收系统记录该脉冲波在混凝土内传播过程中表现的波动特性, 根据波的到达时间和波的能量衰减特性、频率变化以及波形畸形程度等特征, 进而判别测区内混凝土内部存在缺陷的程度及位置。

对于码头结构的地下连续墙、前墙等主要隐蔽结构, 传统检测方法有一定的缺陷: 比如钻芯法在超深板桩或地连墙应用时较难控制钻芯沿着墙体垂直进入, 芯样难以保证完整; 注水试验仅能对上部浅层墙体的渗透性进行检验, 难以评判整体性能; 声测密实性需要在施工期一定批次的桩上布置声测孔, 在一定程度上有损结构且检测批次有限。目前的检测手段对部分新结构的关键指标尚无成熟方法, 比如码头后方填土涨落潮时的剩余水头、卸荷板结构质量等^[11-14]。

1.2 新型检测技术

1) 探地雷达。

探地雷达技术, 是以探测目标体与周围介质

间存在的介电性差异为基础,利用发射天线向被检测介质发射高频脉冲电磁波,接受天线接收由被检测介质内不同介电性界面反射回的电磁反射波和直达波,利用介质内电磁波传播路径,电磁场强度和波形随所通过介质的电磁性质及几何形态而变化的原理,通过研究反射波相对直达波的往返时间、振幅、频率和相位特征,确定被检测介质内隐蔽体的一种探测方法。探地雷达检测方法探测效率高、对场地和目标体无损、有较高的分辨率和抗干扰能力、适用于素混凝土防渗墙质量检测 and 剩余水头探测^[15]。

2) 冲击回波。

冲击回波法是利用一个短时的机械冲击(用一个小钢球或小锤轻敲混凝土表面)产生低频的应力波,纵波传播到结构内部,被缺陷和构件底面反射回来,这些反射波被安装在冲击点附近的传感器接收下来,并被送到一个内置高速数据采集及信号处理的便携式仪器。将所记录的时域信号经傅立叶变换后进行频谱分析,频谱图中的明显峰正是由于混凝土结构表面、缺陷的反射所致,适用于浅层灌浆效果检测,锚杆锚固质量,钢衬与混凝土接触状况^[16-17]。

3) 地震波 CT。

地震波 CT 的工作原理用地震波射线穿透地质体,通过对地震波走时和波动能量变化的观测,经过计算机处理反演,重现地质体内部的结构图像,适用于深层灌浆效果检测,前墙、遮帘桩等钢筋混凝土质量检测。

4) 钻孔电视。

钻孔电视主要由地面部分和井下部分组成。地面部分包括控制器、电脑、三脚架、绞车、滑轮和深度计数器;地下部分包括摄像探头和电缆,摄像探头由 CCD 摄像机、LED 灯、玻璃罩和锥形镜组成。适用于垂直孔、水平孔和倾斜孔(俯角、仰角),锚索(杆)孔、地质钻孔和混凝土钻孔等各类钻孔,可形成数字化钻孔岩芯,永久保存,特别适合于无法取得实际岩芯的破碎带地层,及钻芯孔壁探测。

此外还有单道地震、高密度电法等,适用于地下水位探测、防渗墙质量检测等。

2 工程实例

2.1 卸荷板质量和剩余水头检测

分离卸荷式板桩码头采用卸荷承台与前墙分离设置,避免了因码头水平变位较大或产生不均匀沉降时,承台下的基桩会发生桩头混凝土开裂,影响其耐久性。码头后方填土内的剩余水头对码头地下连续墙或锚钉墙的水压力是十分重要的变荷载,摸清后方地下水随潮位变化是新型板桩码头结构重要的力学指标。

1) 工程概况。

某码头泊位为重力卸荷式,采用探地雷达法对卸荷板质量、回填土及混合倒滤层中脱空以及不密实等缺陷进行检测。

2) 测线与测量条件。

距码头前沿 11.5、13.5 m 分别布设 2 条长 60 m 测线 l_1 、 l_2 ; 垂直于码头前沿布设 3 条长 13.5 m 测线 l_3 、 l_4 、 l_5 。2012 年 6 月 15 日, 10 时, 潮位 6.58 m, 测量了 $l_1 \sim l_5$; 15 时 35 分, 潮位 4.21 m, 测量了 $l_3 \sim l_5$ (图 4)。

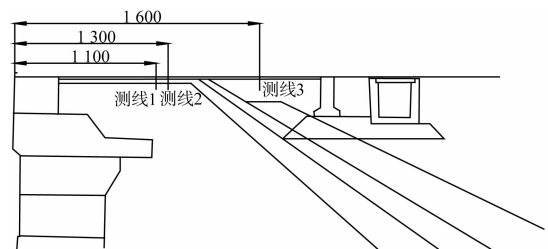


图4 码头泊位横剖面

3) 检测结果与分析。

检测结果见图 5~7。

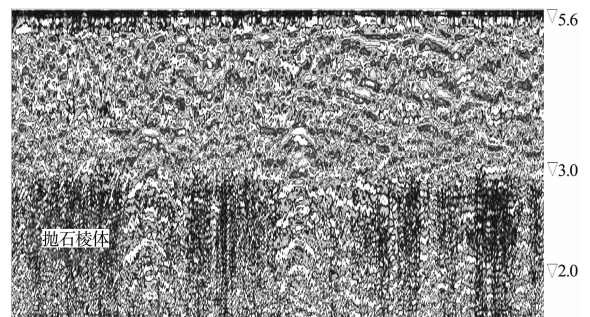


图5 测线 l_1 雷达伪彩图

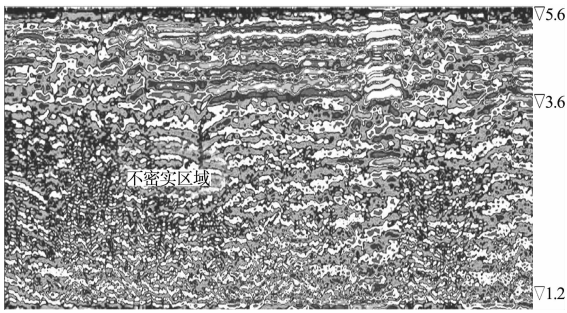


图6 测线 l_2 雷达伪彩图

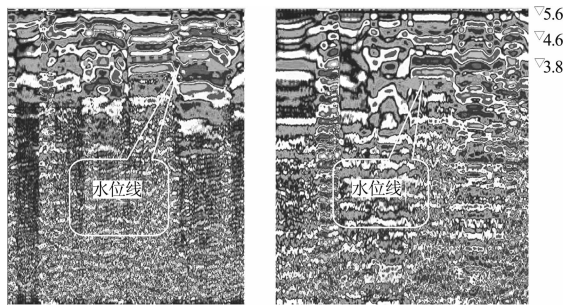


图7 134 系船柱处高、低水位检测剖面

测线 l_1 上层为码头混凝土面层，下层为抛石棱体，混凝土层厚度约 2.6 m；混凝土层位清晰，混凝土内介质分布基本均匀，没有明显的脱空和不密实异常特征存在；下层抛石棱体介质分布均，电磁波在其内均匀衰减，没有明显异常的同向轴或强反射特征存在，故抛石棱体层没有脱空等异常缺陷存在，检测填筑层完好（图 5）。

测线 l_2 139 ~ 145 系船柱轨道梁外侧典型图像，上层介质存在一段较强反射的异常同向轴特征，推断为不密实区域，缺陷范围为约 10 m；下层介质分布均匀，没有明显的脱空等异常特征存在，介质的密实性完好，检测填筑层完好（图 6）。

在高水位时，海水相对于码头结构物内的赋存水的水位显示高压力值，海水向结构物内部渗流，检测图像中显示一个凹型水位曲线；在低水位时，海水相对于码头结构物内的赋存水的水位显示低压力值，结构物内部赋存水向海面渗流，检测图像中显示一个凸型水位曲线，水位面的位

置见图 7。本检测时段高水时结构物内部水位相对于码头约为 1 m，低水位检测时段结构内部水位为约 1.8 m。

2.2 水下梁板质量检测

1) 工程概况。

某码头水下部分梁板混凝土强度为 C55，平均板厚为 80 cm，检测时混凝土龄期约 30 d。现场浇注记录可以看出，在整个浇注过程中局部出现离析，梁板连续性不好（图 8）^[18]。

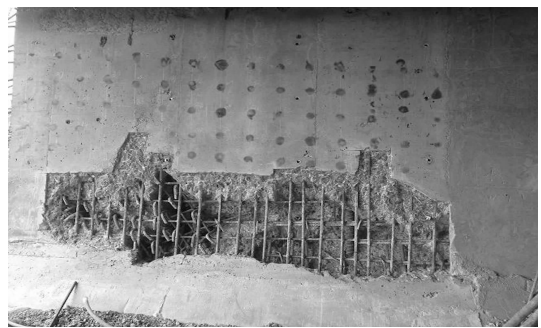


图8 梁板脱空

2) 测线布置。

测线布置如图 9 所示。现场在每块腹板表面划分 400 mm × 100 mm 的单元格。图中，地质雷达测线和冲击回波测线均按 y 坐标值沿 x 轴正向移动，阴影单元格为超声成像测点。探地雷达测线按 y 坐标值沿 x 轴正向移动。

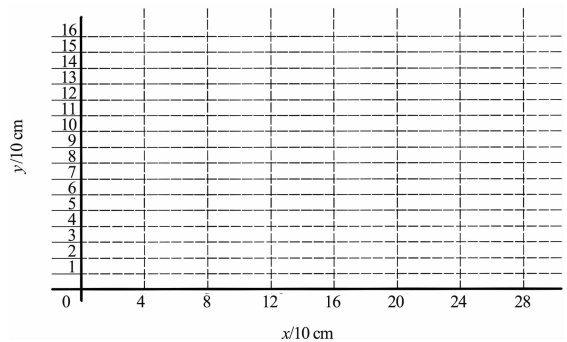


图9 梁板测线布置

3) 检测成果。

典型雷达剖面如图 10 所示。典型冲击回波频谱如图 11 所示。典型超声成像检测剖面如图 12 所示。

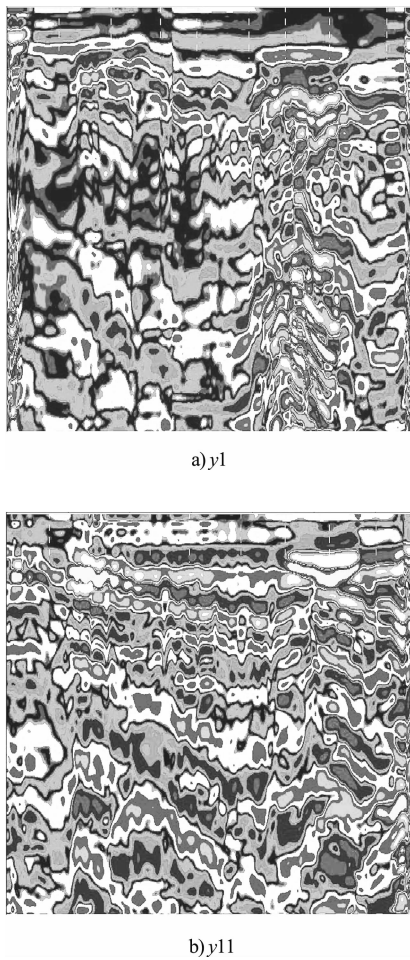


图10 边跨右边腹板测线 y1、测线 y11 地质雷达检测剖面

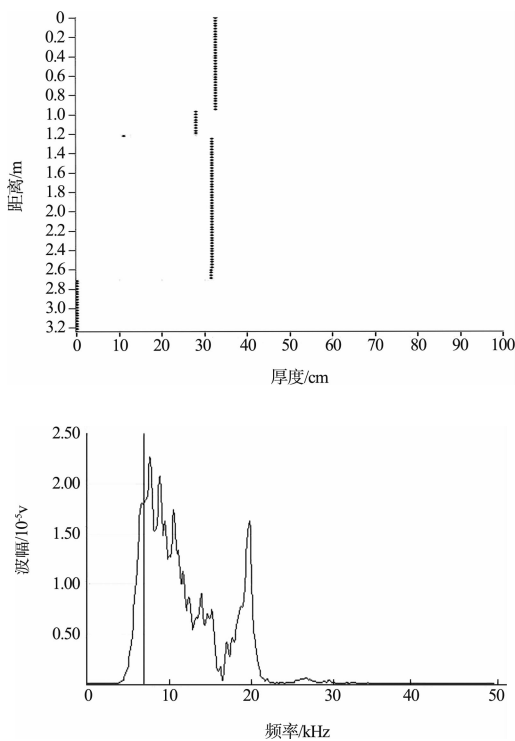


图11 边跨右边腹板测线 7、9、11 冲击回波频谱

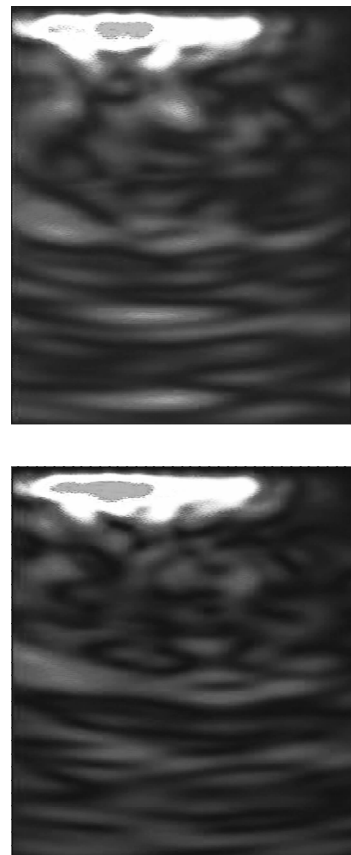


图12 边跨右边腹板超声成像检测剖面

4) 综合诊断分析。

地质雷达、冲击回波和超声成像联合检测推断在 (x6 ~ x7, y7)、(x6 ~ x7, y11)、(x6 ~ x7, y15)、(x6 ~ x7, y17) 有脱空异常, 测线范围约 6 cm, 与设计图纸对照并经现场验证, 所检测出的脱空异常实为一条竖向预应力埋管, 管径为 60 mm。

2.3 地下连续墙质量检测

1) 工程概况。

某板桩码头地下连续墙为素混凝土结构, 采用探地雷达法对其结构密实性进行探测, 该技术可对墙体无损且探测深度满足墙体设计深度要求, 通过雷达波的图像解译可以判别地下连续墙的工程质量。

2) 测线布置。

检测沿地连墙墙顶, 用 50 m 钢卷尺丈量实际测线长度, 每隔 10 m 打一个标。

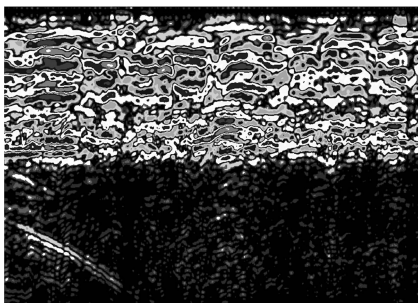
3) 成果分析。

从雷达图像中推断, 该工程防渗墙所检测部位墙体内部均未见大面积的明显不连续异常, 层间也未见明显孔洞等现象, 主要的缺陷为靠近防

渗墙底部局部有错位现象, 主要由于逐孔压浆时混凝土外渗等原因造成。其他部位雷达波相位连续, 振幅基本稳定, 无反射面, 表明该段电磁波在较为均一的介质中传播, 除了个别部位出现上述缺陷的特征外, 其余所检测的墙体未发现明显的缺陷^[19-20]。各测线雷达伪彩图如图 13 所示。



a) 测线1



b) 测线2

图 13 雷达伪彩图

3 结论

1) 总结归纳钻芯法、注水试验和声波投射等传统板桩码头检测技术评价和分析方法, 重点研究基于探地雷达、冲击回波、地震波 CT、声波 CT、钻孔电视等技术新型板桩码头综合探物技术, 可为新、旧板桩码头检测技术评价提供技术支撑, 以指导具体板桩码头工程安全评价因地制宜地选择检测方法、设备等。

2) 列举板桩码头质量检测关键技术, 在板桩码头卸荷板、地下连续墙和水上梁板质量和剩余水头检测等不同方面的应用实例, 对板桩码头的全面或专项检测提供指导, 并获得成功的应用。

参考文献:

[1] 刘永绣, 吴荔丹, 李元音, 等. 一种新型码头结构形式—半遮帘式深水板桩码头结构的推出[J]. 港工技术, 2002(1): 15-18.

- [2] 蔡正银, 李景林, 徐光明, 等. 土工离心模拟技术及其在港口工程中的应用[J]. 港工技术, 2005 (S1): 47-50.
- [3] 蔡正银, 徐光明, 曾友金, 等. 遮帘式板桩码头土压力离心模型试验研究[J]. 港工技术, 2005(S1): 51-55.
- [4] 焦志斌, 蔡正银, 王剑平, 等. 遮帘式板桩码头原型观测技术研究[J]. 港工技术, 2005(S1): 56-59.
- [5] 张俊平. 遮帘式板桩码头施工质量控制及评价[J]. 港工技术, 2005(S1): 86-87.
- [6] 胡少伟, 牛志国, 陆俊, 等. 码头成层地基中地震动的非线性反演方法[J]. 水运工程, 2010(4): 7-10.
- [7] 胡少伟. 水闸混凝土结构评估与新型预应力修复加固成套技术[J]. 中国水利, 2010(5): 65.
- [8] JTJ 218—2005 水运工程水工建筑物原型观测技术规范[S].
- [9] JTS 131—2012 水运工程测量规范[S].
- [10] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [11] Wang R, Yin C C, Wang M Y, et al. Simulated annealing for controlled-source audio-frequency magnetotelluric data inversion[J]. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2012, 7 (2): 188-196.
- [12] Wiwattanachang N, Giao P H. Monitoring crack development in fiber concrete beam by using electrical resistivity imaging [J]. Journal of Applied Geophysics, 2011, 75(2): 294-304.
- [13] Nicolaescu I, Genderen P. Performances of a stepped-frequency continuous-wave ground penetrating radar [J]. Journal of Applied Geophysics, 2012, 82 (3): 59-67.
- [14] Tekin I, Birgul R, Aruntas H Y. Determination of the effect of volcanic pumice replacement on macro void development for blended cement mortars by computerized tomography [J]. Construction and Building Materials, 2012, 35(4): 15-22.
- [15] 葛双成, 江影, 颜学军, 等. 综合物探技术在堤坝隐患探测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 263-272.
- [16] 石明, 冯德山, 戴前伟, 等. 综合物探方法在堤防质量检测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1 328-1 331.
- [17] 孙熙平, 王元战, 徐满意, 等. 高桩码头基桩完整性检测技术研究综述[J]. 港工技术, 2010, 47(2): 50-53.
- [18] 秦网根, 方海东, 吉同元, 等. 在役高桩码头结构物的检测与评估[J]. 水运工程, 2012(1): 69-73.
- [19] 丁祺. 高桩码头破损检测及加固技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [20] Karray M, Lefebvre G. Techniques for mode separation in Rayleigh wave testing[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2009, 29(3): 607-619.