

板桩码头结构异常情况稳定性分析研究

秦网根, 张银, 张润, 李鹏飞

(华设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210001)

摘 要: 板桩码头面层塌陷、钢板桩接缝漏水等劣化问题会影响码头的结构安全, 为及时了解结构的安全状况, 本文依托某钢板桩码头, 采用外观调查、水下探摸及探地雷达扫测相结合的方法综合评定码头结构安全状况, 判断码头存在的劣化问题, 全面准确地为码头的进一步加固设计和修复提供依据。

关键词: 钢板桩码头; 结构安全; 水下探摸; 探地雷达

中图分类号: U656.1

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 03—0036—03

板桩码头因在陆地施工建设、施工快、工期短、造价低、不占用港池面积等一系列优点, 已在砂性土、软弱土等不同地质环境下被广泛应用, 然而, 板桩码头在使用过程中, 因后方陆域堆载过大、环境激振、码头施工工艺导致钢板桩锁口以及混凝土板桩间止水问题不佳, 易导致码头板桩间产生漏砂漏土通道, 且劣化问题发现时, 面层以下存在大范围沉陷、空洞现象。如何快速排查板桩码头地表以下缺陷区域、摸清水面以下桩间缝隙情况, 以及可能存在的其它劣化问题, 是保障工程安全和预防码头安全事故发生的关键。

本文依托某钢板桩码头, 针对板桩与胸墙连接处发现的滴水声、人行道局部位出现沉降过大现象进行问题排查, 首先通过采用外观普查, 详细了解码头存在的表现劣化情况, 然后对码头地表采用探地雷达进行扫测, 重点排查存在的空洞缺陷范围, 查清码头面以下是否存在地表沉陷等问题, 对板桩水下区域采用水下探摸进行板桩缝隙情况检查, 综合判断码头存在的劣化问题, 为码头的进一步加固设计和修复提供依据。

1 工程概况

本工程位于挖入式港池, 如图 1 所示, 在港池下游侧沿纵深方向依次布置泊位 3 个, 下游段长 183m, 船舶采用顺靠型式; 在港池底端依次布置 10 个泊位, 长 170m, 船舶靠泊时采用丁靠型式, 码头均采用板桩结构, 结构型式采用 OZ27 型钢板桩结构, 钢板桩壁厚 11.0mm, 桩长 17.4m, 顶标高 0.9m, 底标高 -16.5m, 钢板桩采用拉锚结构, 前墙为沉桩后在桩顶现浇“L”型钢筋混凝土胸墙形成直立岸壁式板桩墙结构, 顶标高为 5.4m, 低标高为 0.5m, 宽 0.5~1.5m。在码头后方距前沿 26m 处现浇连续钢筋混凝土锚碇板, 锚碇墙为“L”型, 顶高程为 2.80m, 底高程为 0.0m, 厚 0.4m, 基础为 100mm 厚素混凝土和 300mm 厚二片石垫层。在码头

运营过程中, 发现板桩与胸墙连接处存在滴水声、人行道局部位出现沉降过大现象, 为查找原因, 采用外观调查、探地雷达检测、水下探摸检测等, 综合分析码头存在的劣化问题。

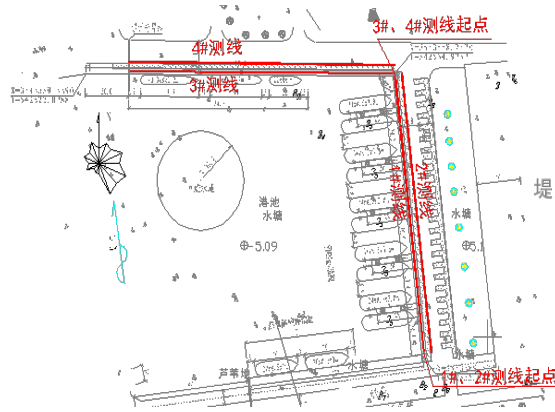


图 1 码头平面布置示意图

2 检测内容及方法

2.1 缺陷外观调查

板桩码头存在漏砂漏土路径, 码头后方面层会发生开裂、塌陷, 面层以下会存在空洞等现象, 检测中详细检查码头面层、胸墙、板桩等水工建筑物构件的破损状况, 对码头板桩水上部分外观进行调查, 并对破损、扭曲、接缝漏水等情况做出详细记录, 面层敲打时如发生声音沉闷, 出现“咚、咚、咚”声音, 记录其发现的所处位置。

2.2 水下结构探摸检测

受水位影响, 该工程板桩结构基本在水面以下, 如板桩锁扣咬合不好, 在接缝处易发生漏砂漏土现象, 如存在这种现象, 桩间可能会存在缝隙、局部浑浊、翻泡现象。针对水下结构的状况, 拟采用水下探摸对码头水下结构物存在的安全隐患进行详细检查。具体检测方法, 一是由潜水员徒手及使用专用工具, 对码头水下结构物周围表面至河床部位进行探摸、检测, 排查码头钢

板桩是否有错位、损坏、异常现象；二是由潜水员对码头水下基础附近的河床地理环境及情况进行探摸、检测，主要探摸检测基础附近河床是否有较大的凸凹及异常现象。

2.3 板桩墙后下方情况检测

针对本工程板桩码头墙后人行道局部区域出现的不均匀沉降情况，拟采用 sir-3000 型探地雷达，为了能够探测较深位置，选择中心频率为 400MHz 的高频天线对地基进行淘空、不密实情况探测。

2.3.1 基本原理

探地雷达 (Ground Penetrating Radar)，通过发射天线，以脉冲形式将频率在 1 ~ 1000MHz 之间的高频电磁波定向地送入地下。电磁波在有电性差异的地下介质中传播或遇到有电性差异的目标时，会产生电磁波反射，接收天线会接收反射回地面的电磁波。对得到的电磁波信号的电性、波形、几何形态特征等进行分析研究，再推断地下地层或目标物，如图 2 所示。地下介质的相对介电常数与电导率是影响电磁波传播速度与路径的主要原因。

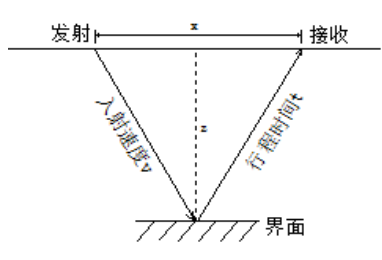


图 2 探地雷达探测原理图

不同介质的介电常数通常不一样，电磁波在通过这两种不同介质的交界面处就会产生像光学的反射和折射现象。电磁波从发射到被接收的行程时间的计算公式如下：

$$t = \frac{\sqrt{4z^2 + x^2}}{v} \quad (1)$$

$$t = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

式中：z 是反射界面深度，x 是发射天线到接收天线间的距离，v 是电磁波在介质中传播的波速，c 是光速， ϵ_r 是介质的相对介电常数。已知波速 v，可以通过读取雷达剖面上行程时间来计算界面深度 z。

穿透介质的波吸收程度、界面反射系数都会影响电磁脉冲反射信号的强度。探地雷达探测的前提条件是反射系数和反射波能量的大小与不同介质的电磁参数差别成正比。

探地雷达的探测深度与天线的频率成反比，而分辨率与天线的频率成正比。所以，探地雷达技术存在着探测深度与分辨率的取舍和优选的问题。

2.3.2 工作方案

探地雷达型号为 sir-3000，天线中心频率为 400MHz，探测深度大约为 2m。具体参数设置如下：数据采集模式为距离模式，测程为 80 纳秒，采样点数为 512，数据位为 16，增益设置为 5 点自动增益，滤波器采用无限响应滤波器，垂向低通滤波值为 800MHz，垂向高通滤波值为 100MHz，发射率为 100kHz。根据码头现场情况，布置横向和纵向测线，覆盖整个码头后方回填区域。对采集得到的原始数据，进行如下处理：

- (1) 确定地面反射波信号，调整信号零点；
- (2) 调整信号增益；
- (3) 利用水平叠加、背景去除消除噪音干扰；
- (4) 无限响应滤波；
- (5) 交互式解释得到面层厚度。

3 调查结果及分析

3.1 缺陷外观调查情况

(1) 码头面层局部有塌陷及修补痕迹。港池中段面层南起 2# 分段变电箱处下面有塌陷；港池中段面层港池东北角塌陷未回填。

(2) 临水面钢板桩接缝处漏水等缺陷，如图 3 所示。



图 3 伸缩缝处钢板桩接缝漏水

(3) 港池中段水面以上部分板桩无明显破损，靠船桩处、港池中段与上游段搭界处存在局部淤积；港池下游段水面以上部分板桩无明显破损，板桩前沿地形平坦，前沿 15m 范围内无明显障碍物，其中东起 1# 分段与港池中段搭界处存在局部淤积，东起 2#、3#、6#、9#、10# 分段板桩前沿局部存在冲刷现象。

(4) 河床与板桩与胸墙吻合良好。板桩表面光滑，无贝类存在。板桩与板桩排列整齐，缝隙均匀清晰，未检测到其他板桩移位、断裂、变形、偏移等病害现象。

3.2 水下结构探摸检测

此次水下结构探摸范围为港池中段 170m 及港池下游段 183m。

3.2.1 港池下游段

(1) 下游水工结构板桩（泥面衔接处）至胸墙底部（胸墙衔接处），板桩平均高度约 4.9m。

(2) 河床与板桩与胸墙吻合良好。板桩表面光滑，无贝类存在。

(3) 水下板桩踏勘探摸检测发现，板桩与板桩排列整齐，缝隙均匀清晰，未检测到其他板桩移位、断裂、变形、偏移等病害现象。

(4) 港池下游段水工结构水下反复踏勘探摸未检测到其他病害存在。

3.2.2 港池中段

(1) 1#~5# 栈桥附近河床（泥面衔接处）板桩至胸墙底部（胸墙衔接处），板桩平均高度约 2.61m，除了栈桥外，码头系统河床（泥面衔接处）板桩至胸墙底部（胸墙衔接处），板桩平均高度约 3.63m。

(2) 河床与板桩与胸墙吻合良好。板桩表面光滑，无贝类存在。

(3) 水下板桩踏勘探摸检测发现，板桩与板桩排列整齐，缝隙均匀清晰，未检测到板桩移位、断裂、变形、偏移等病害现象。

(4) 中部水工结构水下反复踏勘探摸未检测到其他病害存在。

3.3 板桩墙后下方情况检测

采用探地雷达对板桩墙后人行道地基淘空情况进行检测。分别在距离码头前沿 1.3m 和 6.0m 的位置各布置一条平行于码头前沿的测线，其中港池中段 1.3 处为 1#测线，6.0m 处为 2#测线，港池下游段 1.3 处为 3#测线，6.0m 处为 4#测线。对采集得到的原始数据，进行如下处理：

- (1) 确定地面反射波信号，调整信号零点；
- (2) 调整信号增益；
- (3) 利用水平叠加、背景去除消除雪花噪音干扰；
- (4) 无限响应滤波。

通过上述处理得到典型云图如图 4 所示。图 4 中，横轴为测线位置坐标，纵轴为剖面深度，从上到下依次解释如下：0m 处强烈的反射信号为空气与混凝土面层交界处；约 0.25m 处有连续性反射，为混凝土面层与回填层分界；混凝土面层下方有一弧形反射区，疑似面层

下脱空；对应位置下方，电磁信号反射明显，疑似下方土体不密实。具体检测结果见表 1。

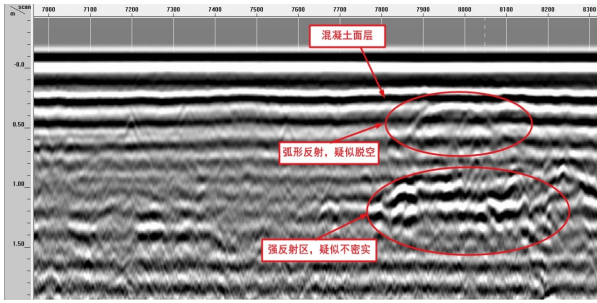


图 4 雷达检测典型图像

表 1 板桩墙后下方情况检测检测结果汇总表

检测部位				情况描述
港池中段	1# 测线	距前沿 1.3m 南起 20m 处	南起 2# 分段	面层下方疑似土体不密实
	1# 测线	距前沿 1.3m 南起 170m 处	南起 10# 分段	面层下方疑似土体不密实
	2# 测线	距前沿 6m 南起 170m 处	南起 10# 分段	面层下方疑似脱空、土体不密实
港池下游段	3# 测线	距前沿 1.3m 东起 25m 处	东起 2# 分段	面层混凝土疑似断裂，下方土体疑似不密实
	3# 测线	距前沿 1.3m 东起 45m 处	东起 3# 分段	面层下方疑似土体不密实，且附近混凝土有沉降现象
	3# 测线	距前沿 1.3m 东起 85m 处	东起 5# 分段	面层下方疑似土体不密实，且附近混凝土有沉降现象
	3# 测线	距前沿 1.3m 东起 112m~116m	东起 7#、8# 分段	面层混凝土疑似断裂缺失，下方疑似土体不密实

4 结论

码头面层塌陷、钢板桩接缝漏水等劣化问题的发生对结构的安全势必产生影响，为及时掌握工程目前的健康状态，及时发现内部、水下存在的安全隐患，掌握结构的安全状况，本文提出采用缺陷外观调查、水下探摸及探地雷达扫测相结合的方法综合评定码头结构安全状况，首先通过采用外观普查，详细了解码头存在的表观劣化情况，然后对码头地表采用探地雷达进行扫测，重点排查存在的空洞缺陷范围，查清码头面以下是否存在地表沉陷等问题，对板桩水下区域采用水下探摸进行板桩缝隙情况检查，综合判断码头存在的劣化问题，全面准确地为码头的进一步加固设计和修复提供依据。

参考文献：

[1] 刘永绣, 吴荔丹, 李元音. 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] 刘永绣. 板桩码头向深水化发展的方案构思和实践——遮帘式板桩码头新结构的开发 [J]. 港工技术 2005.12:12-15.

[3] 刘进生, 刘永绣. 卸荷式板桩码头结构在汉堡港的应用 [J]. 港工技术, 2005, NO.4:20-21,32.