



钢板桩码头钢拉杆动力检测技术应用

李平杰, 戴宇文, 应宗权

(中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 为了检测板桩码头拉杆受力情况, 采用动态测试技术, 利用拉杆频率与内力之间的联系, 通过测试拉杆频率, 得出拉杆内力。针对一个运营将近 30 a 的板桩码头, 结合其拉杆特点, 对拉杆内力进行检测, 从检测的结果可以看出, 拉杆受力大小对其频率影响很大, 可以通过频率测试, 推断出拉杆是否锈断, 同时计算出完好拉杆的内力。

关键词: 板桩码头; 钢拉杆; 频率法; 内力; 检测技术

中图分类号: U 656.1*1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0150-03

Dynamic detection technology application of steel sheet pile wharf steel rod

LI Ping-jie, DAI Yu-wen, YING Zong-quan

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: In order to detect the force of sheet-pile wharf stick, we adopt the dynamic testing technology to test the frequency of rod using the connection between the internal force and frequency of rod, and get the rod's internal force. For a sheet pile wharf which has been running nearly 30 years and combining with the characteristics of the tie rod, we test the rod force. The test results show that the rod stress has a great influence on its frequency. So we can test the frequency of rod and deduce whether the rod is rusted off, and calculate the intact rod internal forces at the same time.

Keywords: sheet-pile wharf; steel rod; frequency method; internal force; detection technology

板桩码头所用的拉杆, 是板桩与锚锭结构之间的传力构件, 是板桩码头抵抗水平力的关键构件。拉杆一般埋在土里, 且容易破坏, 主要破坏原因包括: 1) 码头前沿长期的竖向荷载使得拉杆承受巨大的剪切荷载, 而拉杆的截面较小, 抗剪能力差, 拉杆容易发生剪切破坏; 2) 拉杆在土中, 同时受潮位的影响, 往往处在干湿交替的环境下, 非常容易发生腐蚀破坏^[1-2]。板桩码头是 20 世纪 80—90 年代大量使用的码头形式, 一般设计年限为 30 a, 至今, 越来越多的板桩码头到了设计年限, 因此, 非常需要对码头构件的运营情况进行检测与评估, 而拉杆作为板桩码头最脆弱的构件, 其受力情况在板桩码头检测中显得尤为重要^[3]。目前, 专门针对运营过程中的拉杆受力

情况检测的案例尚未出现^[4], 而对于其它领域中的拉杆受力检测较为成熟, 比如桥梁中的斜拉索、吊杆内力检测等。拉杆内力检测主要采用的方法是动力测试法^[5-6], 即频率法, 通过测试拉杆的频率及已知的频率与内力之间的联系, 推断出拉杆的内力。在此, 结合板桩码头拉杆的特点, 采用频率法对拉杆受力情况进行检测, 以填补板桩码头拉杆受力情况检测的空白。

1 工程概况

一个运营将近 30 a 的叉桩式钢板桩码头, 其钢拉杆采用低碳合金钢, 直径为 70 mm, 钢拉杆水平放置, 填埋在火山石里面, 正上方有管沟、轨道梁 (图 1)。这个码头的钢拉杆由于受荷载、

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 李平杰 (1985—), 男, 博士, 工程师, 从事结构工程的研究。

腐蚀环境的影响, 部分钢拉杆已经拉断, 因此, 检测钢拉杆是否拉断、同时测试完好钢拉杆的内力情况非常重要, 而管沟、轨道梁影响了全部钢拉杆的全面积开挖, 但是为了检测的需要, 全面积开挖了局部几根钢拉杆, 从开挖的结果来看, 钢拉杆在与胸墙连接的位置断裂, 开挖钢拉杆包括了完好钢拉杆和拉断钢拉杆。为了全面检测钢拉杆情况, 同时避免开挖管沟及轨道梁, 采用了频率法对钢拉杆进行检测。

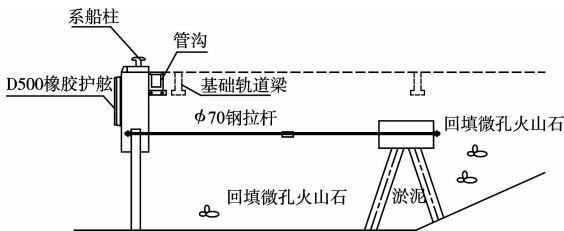


图 1 板桩码头拉杆整体结构

2 检测原理

采用动态测试技术测量拉杆内力时, 需首先设法测出拉杆的振动频率, 因拉杆的振动频率与拉杆力之间存在着一定的关系。对于某一根给定的拉杆, 已知拉杆的长度、线密度及两端的支承条件, 只要测定拉杆的自振频率就可以求得拉杆的拉力。

用振动法测定拉杆的拉杆力, 可以根据弦振动原理对拉杆的拉杆力与振动频率之间的关系进行分析, 也可以根据拉杆作横向固有振动的平衡微分方程导出实用公式。为了简单说明其基本原理, 以不考虑垂度、拉力变化等的拉杆的实用公式进行简单推导 (图 2)。

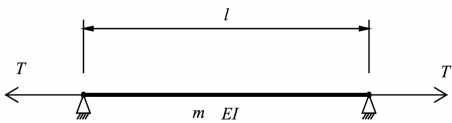


图 2 计算公式推导的力学模型

拉杆的横向固有振动的平衡微分方程为:

$$EI \frac{\partial^4 \eta}{\partial x^4} - T \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + mg \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0$$

(1)

式中: EI 为拉杆的刚度; T 为拉杆力; m 为单位长度的拉杆质量。

设方程的解为:

$$\eta(x,t) = \varphi(x)q(t)$$

(2)

采用变量分离可得通解为:

$$q(t) = A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t)$$

(3)

$$\varphi(x) = A_1\sin(\alpha x) + A_2\cos(\alpha x) + A_3\text{sh}(\beta x) + A_4\text{ch}(\beta x)$$

(4)

其中: $\alpha^2 = (\zeta^4 + \gamma^4)^{1/2} - \zeta^2, \beta^2 = (\zeta^4 + \gamma^4)^{1/2} + \zeta^2$, 且

$$\zeta^2 = \frac{T_0}{2EI}, \gamma^4 = \frac{mg\omega^2}{EI}。$$

在简支边界条件下, 由通解可得频率特征方程为: $\sin\beta L = 0$, 最后计算得到

$$T = \frac{4\ mg l^2 f_n^2}{n^2} - \frac{nEI\pi^2}{l^2}$$

(5)

3 频率测试

用频率法测定拉杆内力 (图 3), 最基本的工作就是如何准确地测出拉杆振动频率。目前, 在工程上, 主要通过频谱分析, 即通过功率谱上的峰值判断出其各阶的振动频率^[7]。

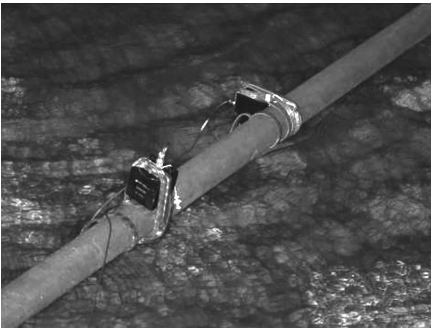


图 3 拉杆现场测试

1) 激振。

频率法分为共振法和随机激振法, 共振法需要进行人为激励, 对操作者有较高的要求。随机激振法则利用环境随机激励 (风、振动等) 对拉杆激振, 通过对拉杆随机振动信号的处理, 获取拉杆的固有频率, 并进一步估算拉杆内力。因为环境激励测试法具有不需要激励设备、无须中断结构正常使用的优点, 因此得到了广泛的应用。

2) 传感器。

拉杆的基频相对较低, 而由环境随机激振产生的振动又相对较小, 所以要求拉杆振动测量传感器在低、中频范围内有较高的分辨率和精度。工程中测量拉杆力时, 应用最多的是压电式加速

度传感器。在配备合适的电荷放大器时,压电式加速度传感器的响应在低频段可低至 0.3 Hz,能满足测试要求

3) 采样频率。

通常信号都不能完全满足各态历经性,为了使分析结果满足一定的置信度,必须选择合理的采样时间。由于拉杆的构造比较简单,振动信号一般都属于强平稳信号,所以采样时间不需要太长。一般选择最高阶振动频率的 5~10 倍的采样频率进行采样。

4) 拉杆固有频率的确定。

由于拉杆的振动信号是由多谐振动信号组成的复合振动信号。因此作频谱分析后频谱图形上会有多个峰值点出现,每个峰值点代表拉杆的一个自振频率,图 4 分别为完好拉杆及拉断拉杆的频率测试结果。

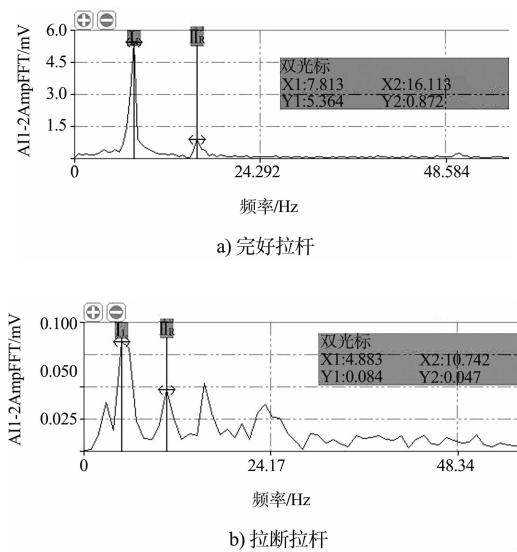


图 4 拉杆频率测试结果

4 结果分析

1) 频率测试结果。

分别选取 1 根完好拉杆及拉断拉杆进行频率测试,测试结果见表 1。

表 1 拉杆频率测试结果		
拉杆	一阶频率/Hz	二阶频率/Hz
完好拉杆	7.813	16.113
拉断拉杆	4.883	10.742

2) 完好拉杆内力计算。

完好拉杆的密度为 30.2 kg/m,长度为 10.1 m,钢材弹性模量取 210 GPa,截面惯性矩为 1.18 × 10⁻⁶ m³,根据式(5)计算得到拉杆内力为 671 kN,应力为 174 MPa,拉杆的设计容许应力为 340 MPa,则安全系数为 1.95,安全系数小于 2,稍微偏低,不过满足拉杆运营要求。

3) 拉杆是否拉断检测分析。

拉杆的端口常常发生在连接处,而连接处受轨道梁、管沟的影响,难以做全面的开挖,在此通过采集完好拉杆与拉断拉杆的频率,评估拉杆频率与之对比,分析出其他拉杆是否拉断(表 2)。

表 2 拉杆是否拉断检测结果			
索号	一阶频率/Hz	二阶频率/Hz	说明
1	4.834	10.297	拉断
2	4.776	9.935	拉断
3	4.955	10.257	拉断
4	4.719	10.240	拉断
5	4.810	10.341	拉断

5 结语

1) 针对一个运营了将近 30 a 的板桩码头,在拉杆端头拉断而无法完全开挖检测情况下,分别抽取 1 根完好及拉断拉杆,对其局部进行开挖,将拉杆周边土体挖开,不与拉杆进行接触(拉杆接触土体对拉杆频率有影响),再测试拉杆频率,对比两者频率值,评价拉杆是否拉断,效果显著。

2) 对码头拉杆进行频率测试并计算内力,得到完好拉杆内力为 671 kN,应力为 174 MPa,拉杆的设计容许应力为 340 MPa,则安全系数为 1.95,安全系数小于 2,稍微偏低,不过满足拉杆运营要求。

3) 将频率法测试拉杆技术首次应用于板桩码头上,能够较好地检测拉杆的真实运营状况,并评估拉杆的安全性,该方法可以在板桩码头拉杆检测上大力推广。