

· 地基与基础 ·



水下挤密砂桩沉桩过程动力特性*

胡小波, 张曦, 吴心怡, 龚济平

(中交上海三航科学研究院, 上海 200032)

摘要: 挤密砂桩施工过程中, 经常遇到硬夹层无法穿透、桩管爆裂等难题, 采用灵敏度高、测试数据可靠性好的光纤光栅FBG传感器对打桩过程中桩身和桩端进行应力测试, 并根据测试数据得出挤密砂桩沉桩过程不同土性条件下动侧壁摩阻力与地质勘探的静侧摩阻力、动端阻力与静端阻力的经验关系, 对于打桩锤选型及进行可打性分析具有重要的指导意义。根据桩身应力监测结果得出, 偏心作用是导致桩管爆裂的主要原因, 在施工过程进行桩身垂直度控制具有重要意义。

关键词: 光纤光栅传感器FBG; 动侧摩阻力; 偏心作用

中图分类号: TU 472.32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0131-06

Dynamic characteristics of underwater compaction sand pile

HU Xiao-bo, ZHANG Xi, WU Xin-yi, GONG Ji-ping

(CCCC Third Harbor Scientific Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In the construction process of sand compaction pile, we often encounter the difficulties such as fail of penetrating through the hard interlayer and bursting of the pipe pile. Adopting the high-sensitivity & good-reliability test data of fiber grating FBG sensor to implement tress test for the pile body and pile end, we get to know the relationship between the dynamic side friction and static side friction, static resistance and static end resistance under different soil conditions during piling of the sand compacted pile, which is an important guidance for the selection of hammer type and feasibility analysis. According to the pile stress monitoring result, we know that the eccentric action is the main cause for the bursting of pipe pile. So, it is very important to control the verticality of the pile body during construction.

Keywords: fiber brag grating (FBG); dynamic side friction; eccentric action

水下挤密砂桩具有施工周期短、取材方便、加固效果直接且明显、工序可控性好等优点, 适用于砂性土、黏性土、有机质土等几乎所有土质, 与一般的砂桩相比挤密砂桩桩体的密实性高, 加固置换率可达60%~70%。它作为地基处理的一种新技术, 有独特的优势, 非常适用于外海人工岛、防波堤、护岸、码头等工程的地基基础加固^[1-4]。目前挤

密砂桩的实践走在理论的前面, 由于没有足够的理论指导, 在施工过程进行振动锤选型、判断是否能够穿越夹层进入持力层时发生困难, 在施工过程也常出现桩管发生爆裂的现象。通过试验研究在不同土性条件下的动阻力与静阻力的关系, 为施工过程选锤及可打性分析提供计算依据, 同时, 根据桩身应力监测结果分析桩身偏心作用。

收稿日期: 2015-06-10

*基金项目: 国家支撑计划课题项目(2011BAG07B00); (2011BAG07B02)

作者简介: 胡小波(1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事岩土工程研究。

1 试验过程

本试验由于牵涉到大型的施工设备，且试验期间不能正常施工，试验所需的传感器安装与保护都相当困难，需动用大量的人力物力，所以试验前期进行了长达3 a的反复策划和修改。试验地点最终选在港珠澳人工岛大桥隧道项目东人工岛西侧约300 m处。

2 动端阻力与静端阻力相关性分析

动端阻力的计算通常有两种：1) 闭口桩形式。利用土质参数先计算出静端阻力值，根据振动衰减情况乘以经验系数来估算动端阻力。2) 开

口桩形式：日本建机调查株式会社根据打桩经验提出了经验计算公式，公式中考虑了振动锤的偏心距等参数，该计算公式适合于钢管桩沉桩过程的相关计算。挤密砂桩在沉管及挤密扩径过程中，利用套管内压力保持管内砂桩高度，保证管外土体不进入套管内，因而其成桩过程更接近于闭口桩形式。所以，本节的振动沉桩过程采用闭口桩形式进行分析。根据《港珠澳大桥主体工程人工岛施工图设计阶段工程地质勘察报告》，打桩区域的静侧摩阻力与深度关系、静桩端阻力与深度关系见图1。

在沉管过程中，土压力随着振动锤的振动而波动变化，沉管过程典型土压力时程曲线见图2。

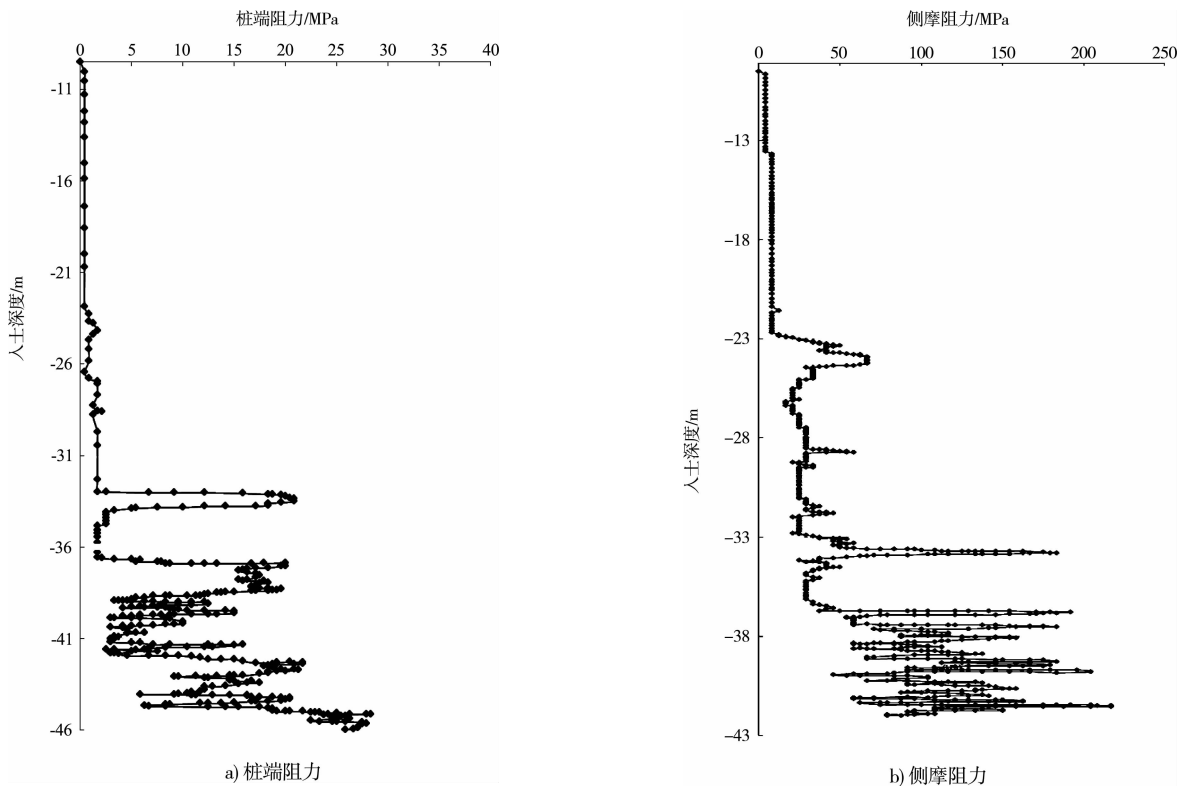


图1 阻力-深度关系曲线

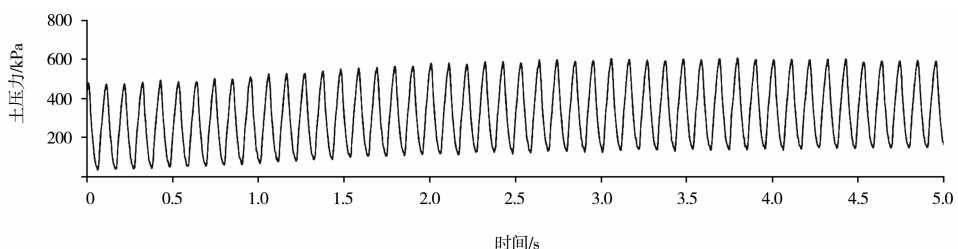


图2 沉管过程典型土压力时程曲线

静端阻力利用《工程地质手册》中的计算公式(4.1.2-1)进行计算。

$$p = \alpha q_c \quad (1)$$

式中: q_c 为桩端平面上、下探头阻力, 取桩端平面以上 $4d$ (d 为桩的直径) 范围内的加权平均值, 然后再和桩端平面以下 $1d$ 范围内的阻力进行平均; α 为桩端阻力修正系数, 黏性土 $\alpha = 0.667$, 砂性土 $\alpha = 0.5$ 。

从静端阻力计算公式可以看出, 其计算值考虑了桩端以下 1 倍桩径范围内以及桩端以上 4 倍桩径范围内的 q_c 值, 由于最深的沉管位置仅仅是刚进入砂土层, 在 5 倍桩径范围内的土性不一致, 不便于计算分析。因而在计算分析时, 选择在此 5 倍桩径范围内均为黏性土的情况。利用上述方法将不同深度由土压力盒测试的动端阻力值与由 CPTU 计算的端阻力测试值进行比较, 结果见表 1。

表 1 不同入土深度下静端阻力计算值与动端阻力实测值比较

深度/m	土层	静端阻力 计算值/MPa	动端阻力 实测值/MPa	动静端 阻力比值
-27.0	黏土	0.57	0.53	0.93
-29.0	黏土	0.99	0.78	0.79
-32.0	黏土	0.81	0.59	0.73
-35.0	黏土	0.78	0.61	0.78

从表 1 可看出, 动端阻力均小于静端阻力, 桩端在黏性土中的动静端阻力比在 0.73 ~ 0.93, 说明在挤密砂桩成桩中端阻力在黏性土中的衰减较小。

3 动侧摩阻力与静侧摩阻力相关性分析

当土体受到振动荷载作用时, 构成土的颗粒间的结合度暂时急剧降低。挤密砂桩在振动沉桩过程中, 侧壁摩阻力因振动作用而大幅减少。动侧摩阻力的折减系数与振动加速度及振动频率密切相关。本节将利用测试数据建立运动平衡方程得出动侧摩阻力的折减系数。选 2-2 截面以下的部分作为脱离体建立运动平衡方程,

2-2 截面距桩管底面的高度为 52.5 m。在沉管阶段, 脱离体(图 3)的平衡方程中需考虑重力、桩端阻力、侧壁摩阻力、管内压力、运动加速度等因素。由于打设过程中存在偏心作用, 在同一截面处用桩管左右两侧的应力平均值作为该截面的应力值。

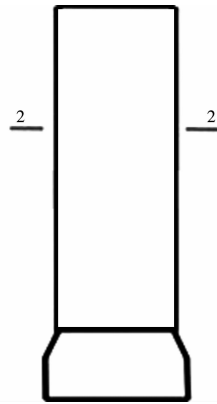


图 3 脱离体

结合振动成桩过程的加速度-时程曲线, 选择桩管在运动到底端的极限时刻进行分析。由波动方程可知, 在此位置时, 加速度最大。脱离体的运动平衡方程为:

$$F_c - F_s - F_r + F_a + mg = ma \quad (2)$$

式中: F_c 为 2-2 截面处管壁压力; F_s 为桩管入土部分动侧壁摩阻力; F_r 为动端阻力, 即桩管底面的动阻力; F_a 为桩管内气压; m 为脱离体质量, 即 2-2 截面以下部分的质量; a 为体系加速度。

截面处压力可根据轴力测试应力与桩管截面面积换算而得。由于轴力的初始基准点选为刚入土时刻, 此刻已包含了脱离体的重力, 所以应将重力扣除。动侧壁摩阻力可由静侧壁摩阻力乘以折减系数得出。故上式可表示为:

$$F_c - \beta_s F_{sc} - F_r + F_a = ma \quad (3)$$

式中: F_{sc} 为桩管入土部分静侧壁摩阻力; β_s 为动侧摩阻力折减系数;

在桩管管底 -38.9 m 左右时, 2-2 截面左右两侧对称布置的 1 通道和 3 通道的应力及土压力计的应力时程曲线见图 4。

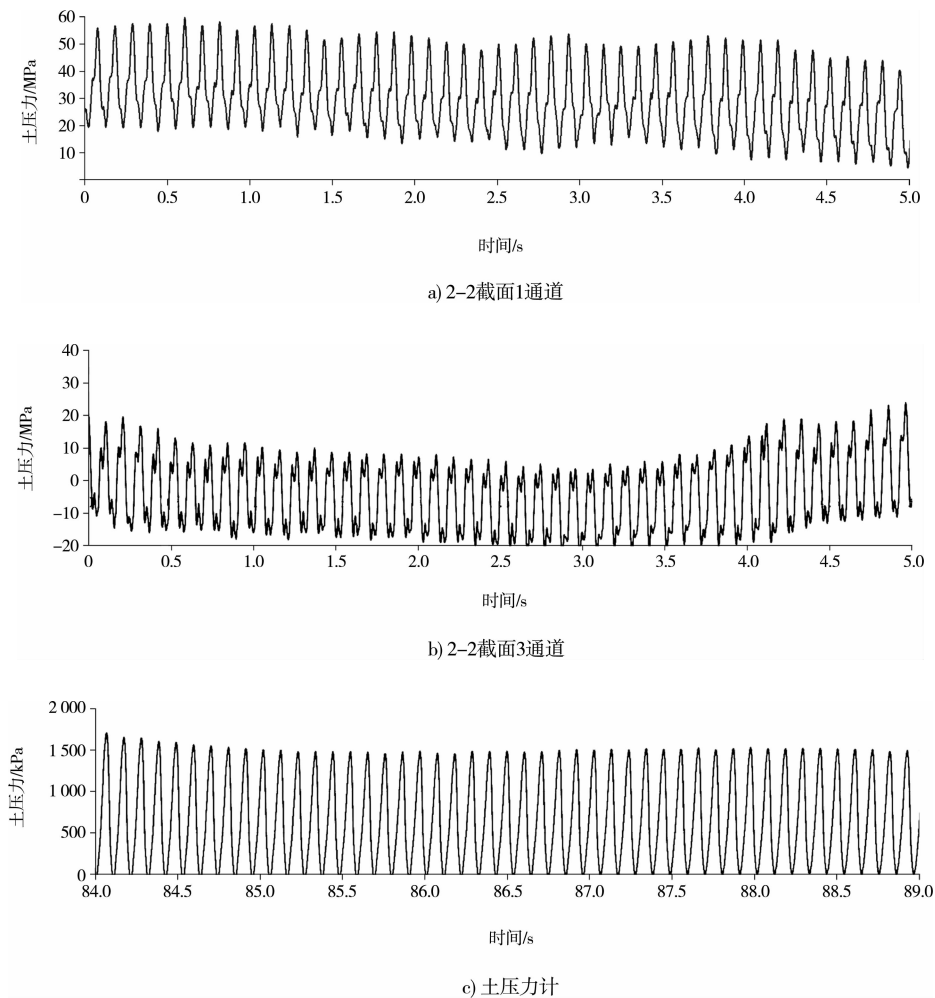


图4 应力时程曲线

对土压力和桩身应力进行相位分析可知,土压力和桩身应力相位基本一致,即在桩管运动到每一循环最下面位置时,土压力最大、桩身应力最大。根据该分析结论,选取应力时程曲线中的应力波峰值和与其对应的土压力值进行分析(表2)。

表2 沉桩过程应力

传感器	沉至-38.9 m时的应力/MPa	压力值/kN
2-2断面	31.902	1 715.6
桩端	1.514	1 189.2

注:2-2截面桩管直径0.8 m,桩管壁厚约为22 mm,桩管扩大头部分直径为1.0 m。

取1通道和3通道的平均值作为2-2截面应力幅值,其值为1 715.6 kN,即 F_c 为1 715.6 kN,动端阻力 F_r 为1 189.2 kN,管内气压力 F_a 经计算

为100.5 kN。

根据CPTU资料计算得出,沉桩至-38.9 m时桩的静侧壁摩阻力 F_{sc} 为2 026.7 kN。在沉桩过程中,由于该过程土性比较接近,为简便起见,认为动侧摩阻力换算系数为定值。

沉至-38.9 m时,加速度的测试结果见图5。桩顶的加速度最大值为 8.04 m/s^2 ,桩端的加速度最大值为 8.14 m/s^2 ,桩顶和桩端加速度最大值的平均值为 8.09 m/s^2 ,可以看出,桩顶和桩端的加速度非常接近,也近似认为一致。

脱离体的质量为12.3 t,在沉至-38.9 m时,向上的加速度最大值为 8.09 m/s^2 。将以上各项计算结果代入式(3),可得出动侧摩阻力折减系数 β 为0.36。

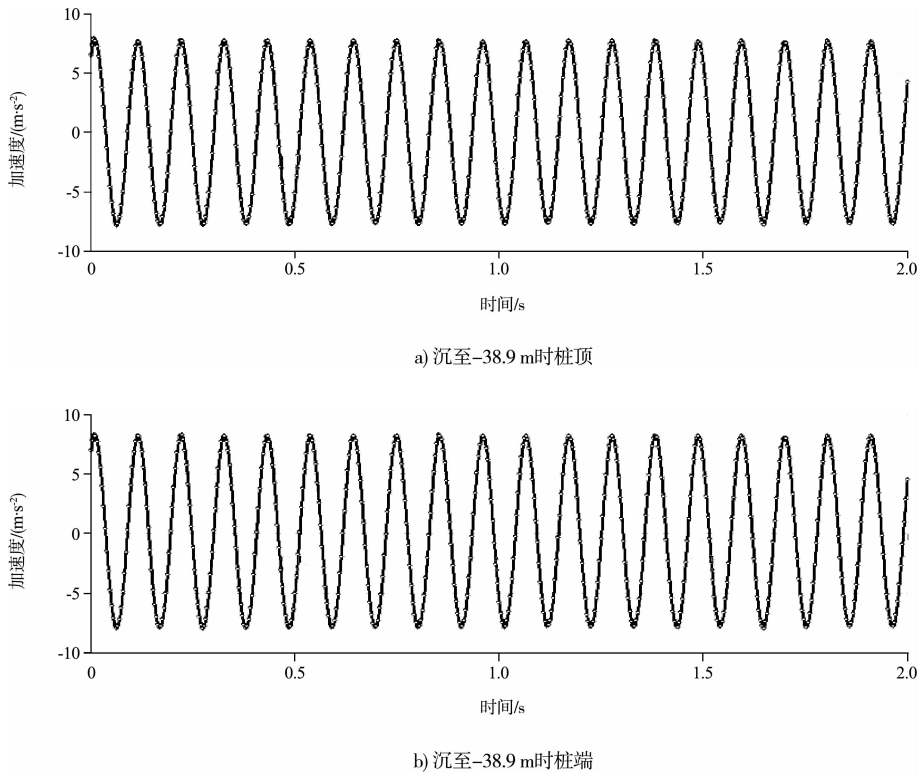
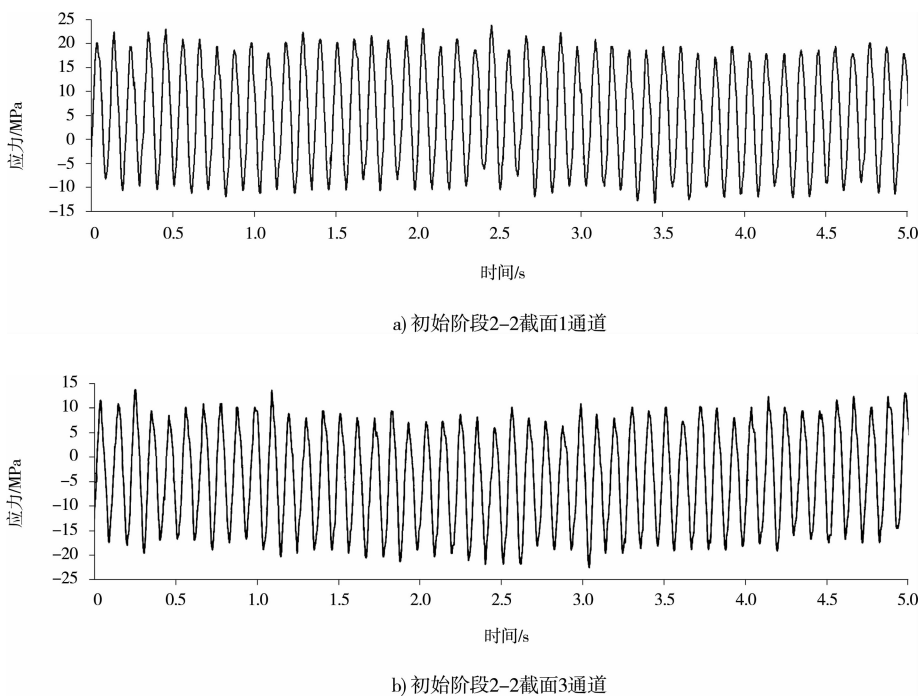


图 5 加速度时程曲线

4 沉桩过程偏心作用分析

测试中光纤应变传感器在不同截面位置采用左右两侧对称布置, 若打桩过程桩管均匀受力, 则左右两侧的应力水平应该相同。以下选取 2-2 截

面在不同入土深度的两个通道的传感器的测试值进行比较, 分析打桩过程桩管的应力变化情况。初始阶段及沉至极限状态时 (沉至 -38.9 m) 的应力时程曲线见图 6。



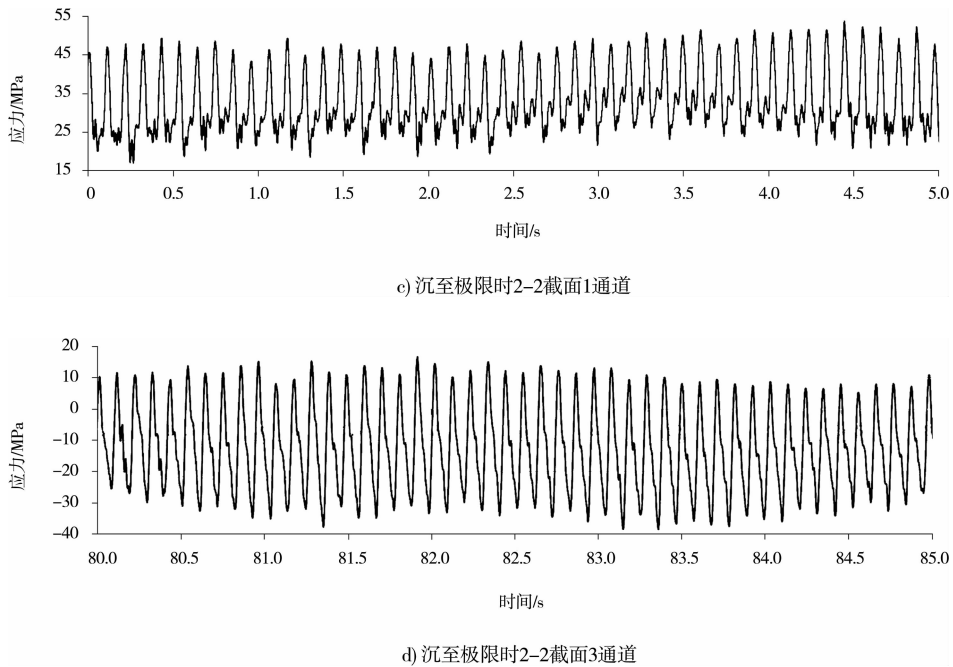


图6 应力时程曲线

从测试结果可知，在桩管入土初始阶段，2-2 截面两个通道的传感器的应力差为 8.4 MPa。在桩管进入打至极限状态时，应力差值为 42.7 MPa。可以看出，随着打设的深度增加偏心作用更为明显。偏心受压会导致砂桩管开裂，产生一些安全隐患，且降低成桩效率。故在砂桩施工过程中，应严格控制砂桩管的垂直度，在实践中不断摸索，改进工艺水平，使砂桩管的垂直度控制在良好的水平，能够较好的保护机械。

5 结论

通过试验得到了黏性土中挤密砂桩沉桩过程动侧摩阻力和动端阻力与静力触探的静摩阻力和静端阻力的关系。在本测试场地中，动端阻与静端阻的比值为 0.73 ~ 0.93，端阻的衰减较小，动侧摩阻力与静摩阻力的比值在 0.36 左右，说明动力打桩主要是减小了桩侧壁摩阻力。

通过对桩身的应力监测和分析，得出了桩身偏心是导致桩管爆裂主要原因的结论，建议在施

工过程中加强对桩管垂直度的控制。由于本次试验的场地为黏性土，建议以后在施工过程中在不同土性、不同物理状态的土中加强监测和分析，得到较普遍适用、更具代表性的经验系数。

参考文献:

- [1] 莫景逸, 黄晋申. 挤密砂桩在海洋接岸地基加固工程中的应用[J]. 水运工程, 2009(11): 123-128.
- [2] 郑俊华, 陈晨, 李延刚, 等. 振动沉管挤密砂桩施工技术[J]. 建筑机械, 2008(9): 96-99.
- [3] 袁聚云, 贺洁, 马险峰, 等. 挤密砂桩承载力计算方法探讨[J]. 结构工程师, 2012(2): 111-115.
- [4] 张曦, 吴心怡, 尹海卿, 等. 水下挤密砂桩加固机理及沉降计算方法[J]. 中国港湾建设, 2010(S1): 148-150.
- [5] 黄林军. 挤密砂桩施工技术及其质量控制[J]. 山西建筑, 2005(8): 87-88.
- [6] 邱松, 顾浩, 曹进捷. FBG 传感技术在混凝土预制桩水平载荷试验中的应用[J]. 岩土工程学报, 2011(S2): 105-107.

(本文编辑 武亚庆)