

湛江霞山港区深厚老沉积土地基 钢管桩承载力试验分析

冯光华¹, 曾华彬², 谭德银¹, 戴宇文¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 中交四航局第一工程有限公司, 广东 广州 510310)

摘要: 通过深厚老沉积土地区钢管桩的压桩试验、拔桩试验和桩身轴力试验, 探讨了深厚老沉积土地区钢管桩压桩和拔桩的土阻力分布规律, 得出如下结论: 深厚老沉积土地区钢管桩压桩状态下侧阻力均值为 76.79 MPa, 比一般黏性土高 27.5% ~ 30.6%; 老沉积土拔桩状态下的侧阻力值达到 42.4 ~ 52.8 MPa; 老沉积土拔桩侧阻力和压桩侧阻力的比值均值为 0.84, 比一般黏性土值要高 5%; 老沉积土压桩和拔桩侧阻力较为恒定, 随着土层埋深和土层厚度的变化较小。这对深厚老沉积土地基中钢管桩的理论研究和工程应用具有指导作用。

关键词: 深厚老沉积土地基; 钢管桩; 侧阻力; 承载力性能

中图分类号: TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0165-06

Behavior of steel tube piles in Zhanjiang deep old deposited soil

FENG Guang-hua¹, ZENG Hua-bin², TAN De-yin¹, DAI Yu-wen¹

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

2. The First Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510310, China)

Abstract: Based on the result of pile pressing test, pile pulling test and axial force test, we probe into the distribution law of shaft friction on compressive and tensile load of steel tube piles in deep old deposited soil and draw the conclusions as follows: The mean shaft friction of steel tube pile under compressive load in deep old deposited soil area can reach 76.79 MPa and is about 27.5% ~ 30.6% higher than ordinary clay. The shaft friction of steel tube pile under tensile load can reach 42.4 ~ 52.8 MPa. The mean shaft friction of steel tube pile under tensile load is 0.84 times of its under compressive load and about 5% higher than ordinary clay. Along with the increase of penetration and soil thickness, the shaft friction of steel tube pile under compressive and tensile load changes slowly. The research result provides an instruction to the theoretical research and engineering practice of steel tube piles in old deposited soil.

Keywords: old deposited soil foundation; steel tube pile; shaft friction; bearing performance

晚更新世 Q_3 及其以前沉积的土, 应定义为老沉积土^[1]。老沉积土是一种沉积年代久、工程性质较好的黏土, 其含水比、塑性指数、压缩模量和内聚力等土的主要物理指标要优于一般黏性土。

国内外工程人员对于钢管桩的承载力特性进

行了大量的研究工作^[2-5]。现有的规范^[6-7]对于一般黏性土在压桩状态下侧阻力值有规定, 而对于老沉积土, 特别是深厚老沉积土地区的压桩和拔桩侧阻力值, 以及拔桩和压桩的侧阻力折减系数并无规范可循。

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 冯光华 (1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事桩基检测与科研工作。

本文通过对湛江老沉积土地区 3 个工程的钢管桩拔桩和压桩试验,对比分析了老沉积土和普通黏土的承载力特性以及该地质钢管桩压桩和拔桩状态下的性能差异性。

1 工程概况

工程 1~工程 3 均位于湛江市霞山港区内。

工程 1 码头全长 678 m,前沿水深 -14 m,港区纵深 1 000 m,陆域面积约 67.8 万 m²,堆场面积约 58 万 m²;该项目年设计通过能力达 80 万 TEU,一次堆存能力为 6.5 万 TEU,可靠泊 1.25 万 TEU 集装箱船舶。

工程 2 有 1 个 30 万吨级散货泊位(结构按 40 万 t 设计),总长度为 450 m,宽 37 m。码头结

构由基桩、桩帽、上部结构组成。桩基采用钢管桩,前轨道梁下为 $\phi 1\ 300\ \text{mm}$ 钢管桩,其余为 $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 钢管桩,排架间距为 8.6 m。

工程 3 由 1 个 30 万吨级原油泊位、1 个 2 万吨级和 2 个 5 000 吨级成品油泊位及引桥组成,均为高桩墩台或高桩梁板结构。

地质分别为:淤泥、中砂、粉质黏土、黏土、老沉积土、粗砂、黏土、老沉积土、粗粒砂、老沉积土。老沉积土层在入土深度范围内占 33.2%~58.4%,具有单层厚度较大、分布广泛的特点。

试验桩均为钢管桩,持力层均为老沉积土层。老沉积土层和普通黏土层的物理力学指标见表 1。由表 1 可知,老沉积土物理力学性能优于普通黏性土。

表 1 土层主要物理力学性质指标平均值

工程名称	土层名称	标贯击数	凝聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	密度/ $(\text{t}\cdot\text{m}^{-3})$	空隙比 e	含水率/%
工程 1	老沉积土	18.2	65.9	20.4	2.06	0.551	14.5
	普通黏性土	7.8	43.4	12.1	1.28	0.881	32.1
工程 2	老沉积土	22.5	58.6	22.3	1.95	0.498	16.2
	普通黏性土	8.5	32.1	16.9	1.83	0.842	25.6
工程 3	老沉积土	19.9	71.3	21.7	2.11	0.556	18.4
	普通黏性土	6.9	37.3	13.6	1.57	0.826	29.7

2 试验概况

2.1 试验方法

3 个工程试验均采用锚桩法,试验设备安装见图 1、2。试验时采用液压油泵对千斤顶进行逐级加载。同时利用试验桩周围的其它工程桩作为基准桩,焊接 2 条足够刚度的观测梁。在试验桩桩顶以下 0.5 m 处,对称安装 4 块大量程百分表(精度 0.01 mm)测量桩顶沉降。



图 1 压桩试验



图 2 拔桩试验

验桩之前,根据试验桩所处位置的地质资料,在试验桩内壁对称两条焊边计算出桩的轴力分布状况,进而得到桩周土层的实际摩阻力分布状况。钢筋计的布置原则:在不同土层的交界处布置一个测点,当土层层厚较大时,在该土层中间适当位置增加测点。每个断面对称安装两个钢筋计。钢筋计焊接在试验桩管内两侧,做好防水处理,钢筋计定点焊接后,导线全部捆扎后用螺栓固定,

外面用 10 号槽钢作保护, 底部用钢板拼接一个过渡坡面, 以防止打桩过程中槽钢被挤出。导线保护装置见图 3。在距桩顶适当位置, 用钢筋焊接 1 个十字支撑, 用于固定钢筋计的导线。

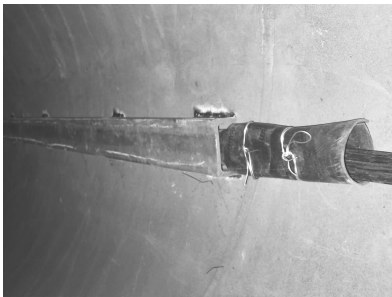


图 3 导线保护装置

2.2 试验桩沉桩和试验

3 个工程试验加载均采用快速法, 加卸载分级进行。每加载级荷载为最大试验荷载的 1/10, 每

卸载级荷载为最大试验荷载的 1/5。拔桩试验在压桩试验完成 3 d 后进行。工程沉桩资料参数见表 2。

3 试验结果及分析

3.1 试验桩 Q-S 曲线

3 个工程 5 根桩压桩试验 Q-S 曲线见图 4。

5 根试验桩压桩试验桩顶位移见表 3, 试验桩的抗压极限承载力均大于每根桩的最大试验荷载, 试验桩均没有破坏。T1 桩最大桩顶沉降为 26.34 mm, 残余桩顶沉降为 2.58 mm; S1 桩最大桩顶沉降为 32.67 mm, 残余沉降为 2.37 mm; S2 最大桩顶沉降为 35.41 mm, 残余桩顶沉降为 3.27 mm; G20 桩最大桩顶沉降为 25.97 mm, 残余沉降为 1.58 mm; G21 桩最大桩顶沉降为 29.27 mm, 残余桩顶沉降为 2.28 mm。

表 2 基桩施工参数

工程名称	桩号	桩径/m	壁厚/mm	桩锤型号	桩长/m	入土深度/m	最终贯入度/(mm·击 ⁻¹)
工程 1	S1	1.4	18	D128	48	28.7	5.0
	S2	1.4	18			29.7	2.7
工程 2	G20	1.3	20	D138	50	25.5	3.2
	G21	1.3	20			24.3	4.2
工程 3	T1	1.4	20	D128	63	35.4	9.0

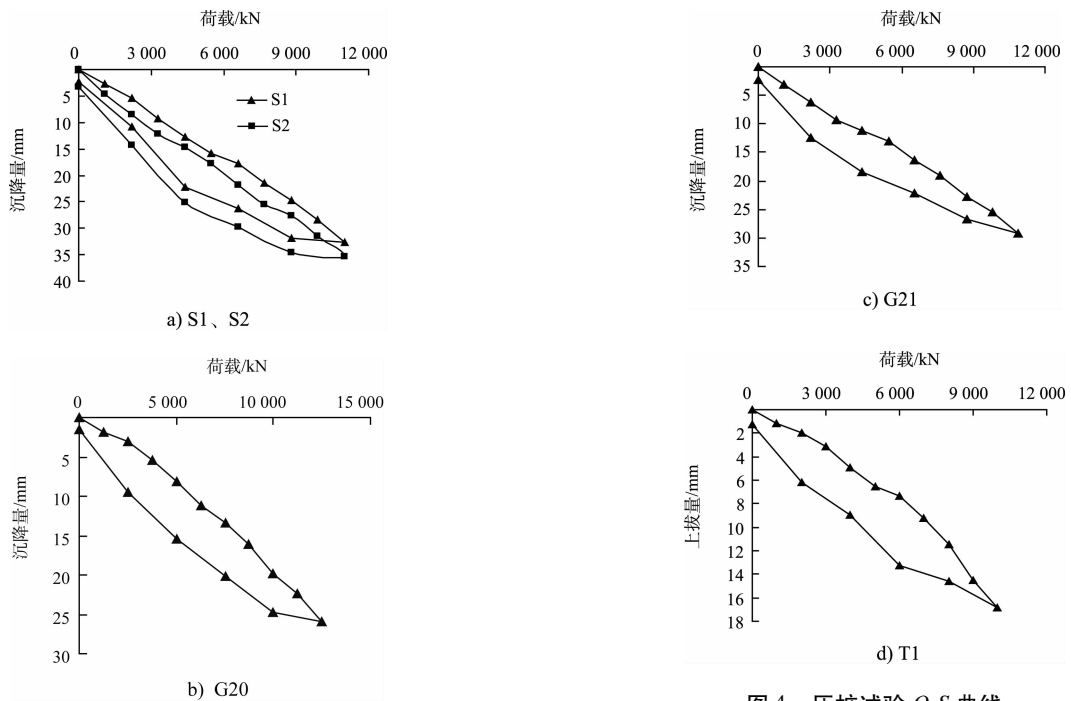


图 4 压桩试验 Q-S 曲线

表 3 试验桩压桩沉桩位移

桩号	桩顶沉降/mm	残余沉降/mm	残余沉降占沉降总量的比例/%
T1	26.34	2.58	9.79
S1	32.67	2.37	7.25
S2	35.41	3.27	9.23
G20	25.97	1.58	6.08
G21	29.27	2.28	7.79

3 个工程共 5 根基桩拔桩试验 Q - S 曲线见图 5。

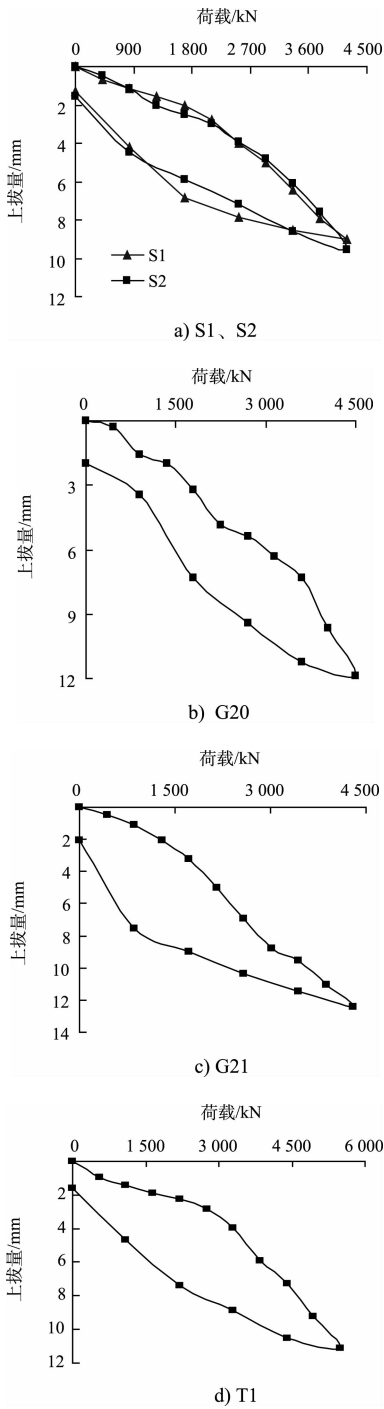


图 5 拔桩试验 Q - S 曲线

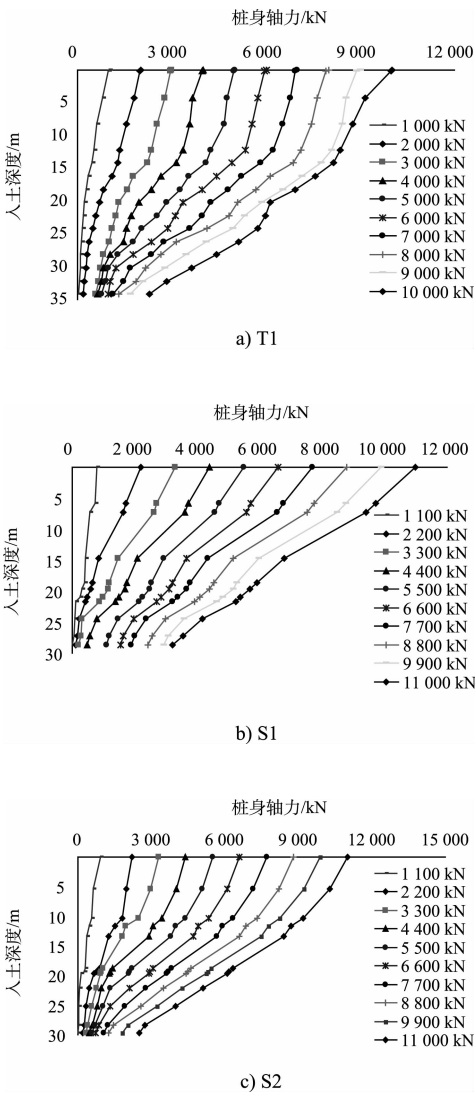
5 根试验桩桩顶位移见表 4，试验桩的抗拔极限承载力均大于最大试验荷载。

表 4 试验桩拔桩沉桩位移

桩号	桩顶上拔量/mm	残余沉降/mm	残余沉降占沉降总量的比例/%
T1	11.12	1.58	14.21
S1	9.02	1.28	14.19
S2	9.53	1.63	17.10
G20	11.88	2.01	16.92
G21	12.40	2.08	16.77

3.2 试验桩桩身轴力测试曲线

试验桩桩身轴力分布见图 6。老沉积土层侧阻力较大，轴力图在该层斜率变化较大。



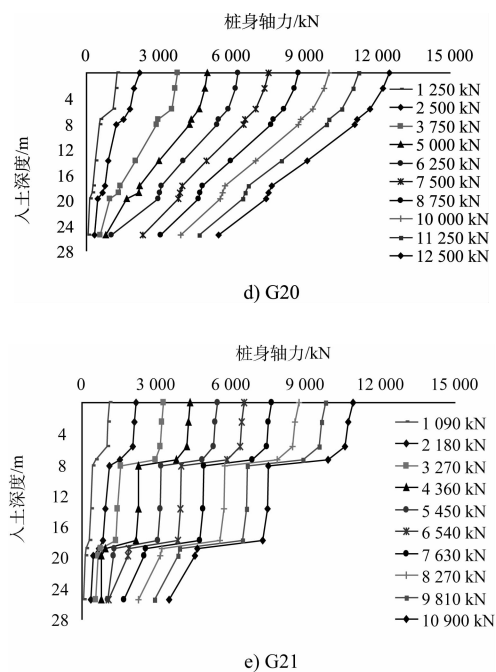


图 6 试验压桩桩身轴力分布

3.3 试验桩侧阻力分布情况

侧阻力计算原理见图 7。

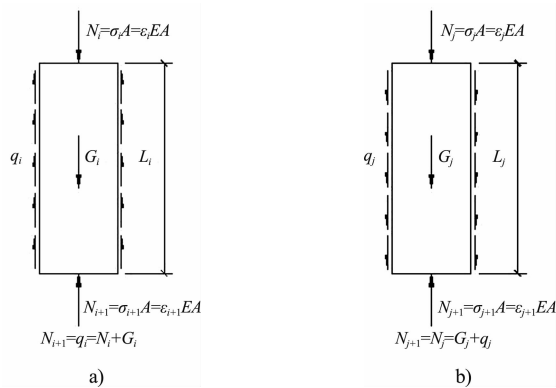


图 7 侧阻力计算原理

由材料力学可知，变形与应力之间有如下关系：

$$\sigma_c = \varepsilon_c E_c \tag{1}$$

式中： σ_c 为桩身应力； ε_c 为桩身应变； E_c 为桩身的弹性模量。

桩身轴力 N 与桩身应力 σ_c 有如下关系：

$$N = \sigma_c A_c \tag{2}$$

式中： A_c 为桩身横截面积。

选取相邻两个钢筋计 i 和 $i + 1$ 之间的桩段作为隔离体，根据力的平衡，可以得到：

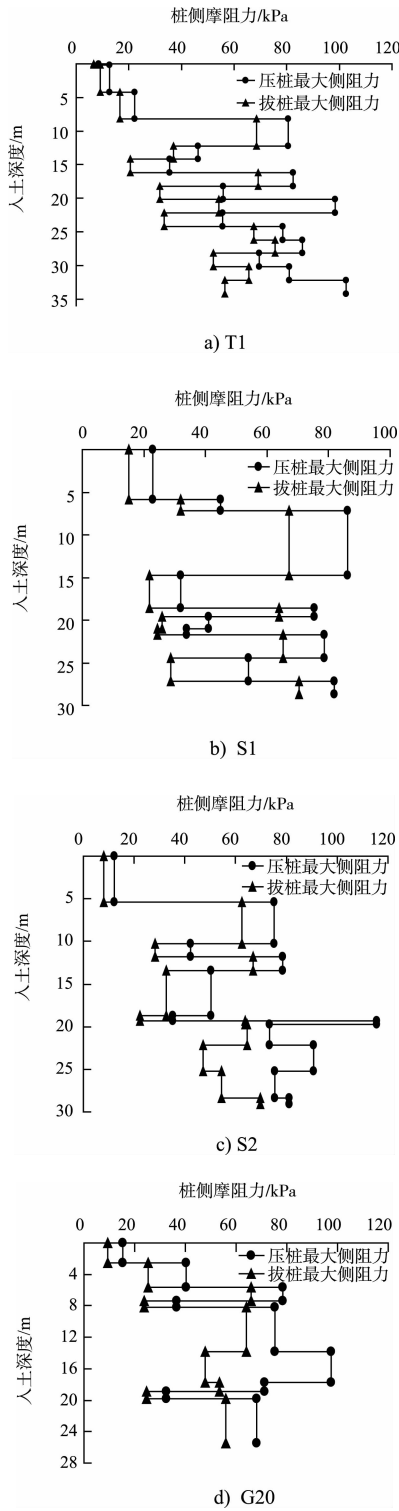
$$N_i + G_i = N_{i+1} + q_i \tag{3}$$

则桩身每两个相邻的测试截面 i 和 $i + 1$ 间的土层侧阻力为：

$$q_i = N_i + G_i - N_{i+1} \tag{4}$$

式中： N_i 为计算段以上桩体截面的力； N_{i+1} 为计算段以下桩体截面的力； G_i 为计算段的桩身自重。

图 8 为压桩和拔桩最大荷载作用下，桩身侧阻力的变化。



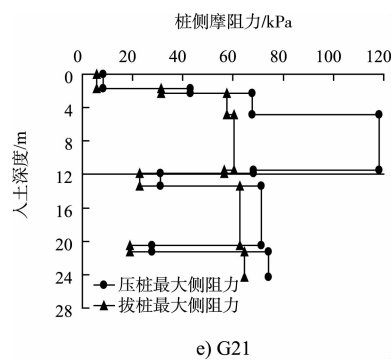


图 8 桩身侧阻力

表 5 为桩身压桩和拔桩状态下，老沉积土层桩身最大侧阻力的测试值。由表 5 可知，桩身入土范围内，老沉积土层占比例较大，约为 3.2% ~ 58.4%。老沉积土层压桩侧阻力值为 67.6 ~ 86.2 MPa，均值为 76.79 MPa；拔桩最大侧阻力值为 53.3 ~ 75.6 MPa，均值为 64.61 MPa。拔桩侧阻力和压桩侧阻力比值约为 0.75 ~ 0.88，均值为 0.84。

表 5 桩阻力测试结果				
桩	老沉积土埋深/m	最大抗压侧阻力/kPa	最大抗拉侧阻力/kPa	拔桩侧阻力和压桩侧阻力比值
T1	8.2 ~ 12.2	80.5	68.4	0.85
	16.2 ~ 18.2	82.4	69.2	0.84
	24.2 ~ 26.2	78.4	67.4	0.86
	26.2 ~ 28.2	85.9	75.6	0.88
	30.2 ~ 32.2	80.9	65.5	0.81
S1	7.21 ~ 14.71	86.1	67.2	0.78
	18.61 ~ 19.61	75.3	64.0	0.85
	21.71 ~ 24.41	78.6	65.2	0.83
	27.21 ~ 28.7	81.8	70.3	0.86
S2	5.43 ~ 10.32	75.1	62.3	0.83
	11.77 ~ 13.42	78.6	66.8	0.85
	19.75 ~ 22.19	73.3	64.5	0.88
	28.42 ~ 29.10	81.2	69.8	0.86
G20	5.7 ~ 7.4	78.5	65.9	0.84
	8.2 ~ 13.8	75.3	64.0	0.85
	17.8 ~ 18.9	71.1	53.3	0.75
	19.8 ~ 25.5	68.2	55.9	0.82
G21	2.3 ~ 4.8	67.6	57.5	0.85
	11.5 ~ 11.9	68.2	56.6	0.83
	13.4 ~ 20.5	71.4	62.8	0.88
	21.3 ~ 24.3	74.2	64.6	0.87

规范给出了黏性土压桩状态下极限侧阻力标准值，可塑黏性土的侧阻力值为 53 ~ 66 MPa，本

试验结果的压桩状态下老沉积土侧阻力测试值比规范的可塑黏性土高 27.5% ~ 30.6%。而根据规范[8]拔桩对压桩状态下，黏性土土阻力折减系数取值为 0.8，而本次试验结果均值为 0.84。比一般黏性土折减系数要大。根据规范对于黏性土侧阻力值的规定以及规范折减系数 0.8 的折减系数，一般可塑黏性土的拔桩侧阻力极限值为 42.4 ~ 52.8 MPa，而本次拔桩状态下的老沉积土侧阻力测试值比上述值高 25.7% ~ 41.2%。老沉积土土层埋深为 2.3 ~ 32.2 m 不等，而压桩和拔桩状态下的侧阻力值以及其比值随着入土深度变化不大，具有埋深恒性。单层老沉积土层厚度为 0.4 ~ 7.5 m，侧阻力值随着层厚大小变化较缓。

4 结论

- 1) 在相同状态下，相比于规范对于一般黏性土的侧阻力推荐值，老沉积土压桩状态下侧阻力值要高 27.5% ~ 30.6%。
- 2) 老沉积土拔桩和压桩侧阻力的比值均值为 0.84，比一般黏性土的值要大 5%。
- 3) 老沉积土层拔桩和压桩的侧阻力值具有恒定的性质，随着土层埋深和土层的厚度变化缓慢。
- 4) 老沉积土拔桩状态下侧阻力值为 42.4 ~ 52.8 MPa。填补了现有规范对于老沉积土层拔桩状态下侧阻力值规定的空白。

参考文献：

[1] GB 50021-2009 岩土工程勘察规范[S].
[2] 贾德庆, 陈锋, 吕黄. 大直径开口钢管桩承载力特性的分析[J]. 水运工程, 2004(10): 22-31.
[3] 汪宏, 李志明, 王林, 等. 大直径钢管桩承载力的非线性分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(S1): 213-217.
[4] 徐向阳, 吕黄, 姚三. 深厚沉积层大直径钢管桩承载力特性试验研究[J]. 水运工程, 2012(6): 179-182.
[5] 周伟, 吕剑, 周维. 大直径钢管桩在复杂地质条件下施工的探讨[J]. 水运工程, 2010(8): 147-152.
[6] JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].
[7] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S].
[8] JT/T 738—2009 基桩静载试验自平衡法[S].

(本文编辑 武亚庆)