

# 沙漠地区砂层预处理对钢筋混凝土灌注桩承载力的影响

石怀清 高鹏 赵文博

(机械工业勘察设计研究院, 陕西西安 710043)

**【摘要】** 通过现场在天然状态下和经过振冲密实砂桩处理后的两个区域进行的单桩竖向静载荷试验和桩身应力测试, 确定了不同区域的单桩竖向抗压极限承载力, 并对天然和经济密砂桩处理两种不同状态下的桩身侧阻力及桩端阻力进行了对比分析, 得出在沙漠地区, 经过振冲密实砂桩处理后, 钢筋混凝土灌注桩的桩身侧阻力及桩端阻力会有较大提高, 设计上可以通过减短桩长来大大节约此类项目在地基基础上的资金。

**【关键词】** 砂层; 灌注桩; 承载力; 挤密砂桩; 桩身应力

**【中图分类号】** TU 473.11

**【文献标识码】** A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2012. 03. 012

## Negative Skin Friction on Piles in Loess Collapsible

### Under Overburden Pressure

Shi Huaiqing Gao Peng Zhao Wenbo

(China JK Institute of Engineering Investigation and Design, Xi'an 710043, Shaanxi, China)

**【Abstract】** Through the field in the natural state and after vibroflotation sand compaction pile treatments on two regions of the static load test of pile and pile stress tests. The Author Had determined the different regions of the vertical ultimate carrying capacity of single pile, and the natural compaction sand pile under two different conditions of pile body side friction are analyzed. After vibroflotation sand compaction pile treatments, the reinforced concrete filling pile side resistance and end resistance of the pile will be greatly improved, designed by the length shortened to save such projects in foundation of funds.

**【Key words】** sand; filling pile; capacity; dense sand pile; pile stress

## 0 引言

随着国家工业的发展, 陕北毛乌素沙漠的油气田被不断开采, 为了节约运输及生产的附加成本, 许多工业基地就近坐落在了这个沙漠的边缘。对于大型的厂房及办公设施, 单纯地对地基进行简单的处理已经不能够满足上部建筑物承载力要求。基于承载力这方面的要求, 沙漠地区逐渐引进了钢筋混凝土灌注桩对地基进行处理。

钢筋混凝土灌注桩在今天已经成为一门相对成熟的技术<sup>[1]</sup>, 由于其具有施工时无振动、无挤土、噪音小、宜于在不同的地区使用等优点, 灌注桩在施工中得到较为广泛地应用。沙漠地区的灌注桩主要采用泥浆护壁回转反循环钻成孔工艺, 导管法水下灌注混凝土成桩。对灌注桩进行振冲密实砂桩预处理, 提高浅部砂层的桩身侧阻力, 从而提高其单桩竖向抗压承载力。

## 1 工程概况

拟建场地位于毛乌素沙漠的南缘, 某能源化工园区内, 四周均为沙漠。场地开阔, 未发现影响工程建设的不良地质作用及地质灾害, 场地稳定。

### 1.1 工程地质条件

场地原始地貌单元属沙丘地貌。地下水稳定水位埋深介于 11.30~17.70 m, 相应标高 1301.39~1305.94 m, 属潜水类型。本场地各层地基土分层描述见表 1。

表 1 场地地层结构表

层序	土名	层厚/m	岩性描述
①	粉细砂 Q <sub>4</sub>	2.10~11.00	褐黄色, 干燥—稍湿, 松散, 矿物成分以长石、石英为主
②	粉细砂 Q <sub>4</sub> <sup>col</sup>	4.20~13.20	褐黄色, 稍湿—饱和, 稍密—中密, 砂质较纯净, 矿物成分以长石、石英为主

续表

层序	土名	层厚/m	岩性描述
③	粉细砂 Q <sub>3</sub> <sup>el</sup>	4.10~10.90	褐黄色—灰黄色,饱和,密实,矿物成分以长石、石英为主,含少量粉粒和粘粒
④	粉细砂 Q <sub>3</sub> <sup>el</sup>	4.70~12.50	褐黄色—灰黄色,饱和,密实,矿物成分以长石、石英为主,含少量粉粒和粘粒
⑤	粉细砂 Q <sub>3</sub> <sup>al+1</sup>	3.40~18.50	褐黄色—灰黄色,饱和,密实,矿物成分以长石、石英为主
⑥	粉质粘土 Q <sub>3</sub> <sup>al</sup>	0.80~5.20	褐黄色,饱和,可塑,局部硬塑,该层以粉质粘土为主,含黑色斑纹及钙质结核,局部相变为粉土,属中压缩性土

1.2 试验技术参数

1.2.1 振冲密实砂桩技术参数

本场地振冲密实砂桩设计桩径 900 mm,桩距 1500 mm,排距 1300 mm,桩长介于 12.5~14.5 m,等边三角形布置。

1.2.2 灌注桩技术参数

灌注桩试验工作共设置两个试桩区域进行,即天然区域和振冲密实砂桩区域,每个区域各 3 根试桩。

试验桩天然砂层区域桩长 29.0 m,桩径 800 mm;砂桩处理区域桩长 24.0 m,桩径 800 mm。

本场地灌注桩采用泥浆护壁回转反循环钻进工艺,导管法水下灌注混凝土成桩。

2 试验结果分析

2.1 单桩竖向抗压极限承载力的确定

通过现场静载荷试验确定施工状态下单桩竖向抗压极限承载力特征值,结合成孔质量测试折减到设计状态下单桩竖向抗压极限承载力(见表 2)。

表 2 单桩竖向抗压极限承载力 Q<sub>u</sub> 取值表

桩号	试验区域	设计桩长/m	终止荷载/kN	最终沉降量/mm	极限承载力取值 Q <sub>u</sub> /kN	折减后竖向抗压承载力极限值 Q <sub>u</sub> /kN
S1	天然区域	29.0	7280	23.07	6720	6487
S2						
S3						
S4	砂桩处理区域	24.0	7280	16.67	6720	6122
S5						
S6						

2.2 桩身轴力测试结果

桩身应力测试采用钢筋应力计法,应力测试采

用 GJ-16 型钢筋应力计,通过量测荷载作用下按地层埋设并固定在钢筋笼主筋上的钢筋计的频率,依据提前建立的频率与应力的关系,计算钢筋应力,再将钢筋应力通过计算换算为混凝土桩截面的轴力。

当桩在荷载作用下引起桩身应力变化,从而引起钢筋计振弦频率改变,通过测试振弦式钢筋测力计在不同荷载下的频率数值,按照下式换算钢筋的应力:

$$\sigma = K(F_i^2 - F_0^2) \quad (1)$$

式中:σ——钢筋应力,kPa;

F<sub>0</sub>——钢筋计的初始读数;

F<sub>i</sub>——第 i 级的钢筋计读数;

K——钢筋计的标定系数。

根据钢筋应力计算桩身轴向力:

$$N_i = \frac{\sigma_i}{E_s} \cdot E_i \cdot A_i \quad (2)$$

式中:N<sub>i</sub>——桩身第 i 断面处轴力,kN;

σ<sub>i</sub>——第 i 断面处钢筋应力,kPa;

E<sub>s</sub>——钢筋的变形模量,GPa;

E<sub>i</sub>——第 i 断面处桩身综合变形模量,GPa;

A<sub>i</sub>——第 i 断面处桩的截面积,m<sup>2</sup>。

根据上式计算结果,绘制出两个区域试桩在不同桩顶荷载作用时桩身轴力沿桩长的分布曲线(见图 1、图 2)。

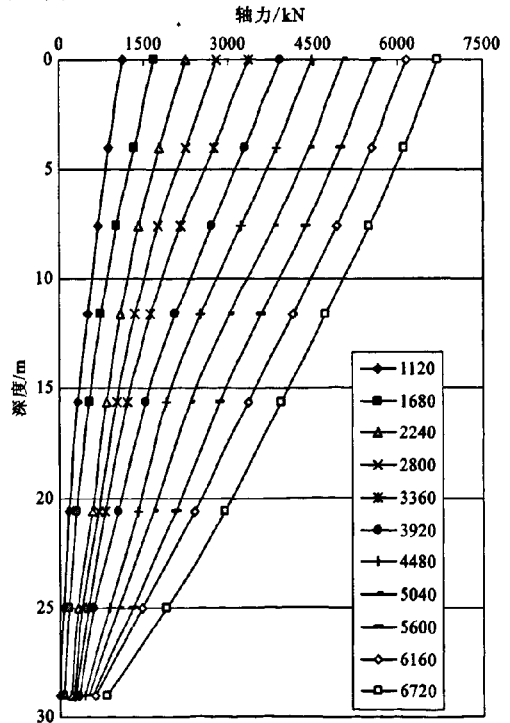


图 1 天然区域轴力分布图

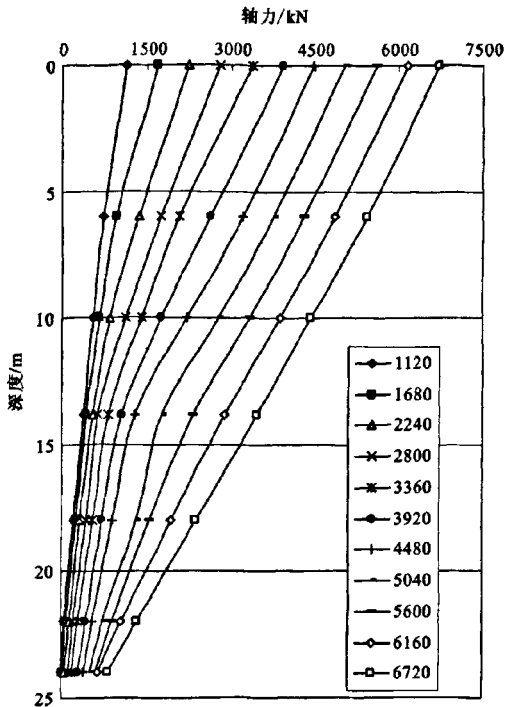


图2 砂桩处理区域轴力分布图

由轴力分布曲线可以看出:

- 1) 在桩顶荷载作用下,各桩桩身轴力均随桩的深度的增加而递减,反映出摩擦桩特征。
- 2) 当桩顶荷载较小时,桩身上部土侧阻力被激发,随着荷载增加,桩身轴力逐渐向下传递,桩身中下部土侧阻力逐渐被激发。当到达极限荷载时,桩身侧阻力发挥到最大,同时桩端阻力也达到极值。

### 2.3 桩侧摩阻力及桩端阻力计算及分析

根据桩身轴力发挥曲线及规范要求<sup>[2-3]</sup>,按下式计算桩侧摩阻力  $q_w$  和端阻力  $q_p$ :

$$q_w = \frac{N_i - N_{i+1}}{u \cdot l_i} \quad (3)$$

$$q_p = \frac{N_n}{A_p} \quad (4)$$

式中:  $q_w$ ——桩侧摩阻力, kPa;

$q_p$ ——桩端阻力, kPa;

$u$ ——桩身周长, m;

$N_n$ ——桩端的轴力, kN;

$l_i$ ——第  $i$  断面与第  $i+1$  断面之间的桩长, m;

$A_p$ ——桩截面积,  $m^2$ 。

经计算得出两个区域试桩在其极限承载力作用时,桩长有效受力范围内各土层的单位面积侧摩阻力及极限端阻力值(见表3),各级加压后摩阻

力变化图见图3、图4。

表3 桩周土层极限侧阻力及端阻力值表

试验区域	极限荷载 /kN	桩周土层极限侧阻力值 $q_{wk}$ /kPa				极限端阻力值 $q_{pk}$ /kPa
		①	②	③	④	
砂桩处理区域	6720	78	95	97	103	1280
		58	77	93	98	1240
勘察报告建议值		30	50	68	70	1100

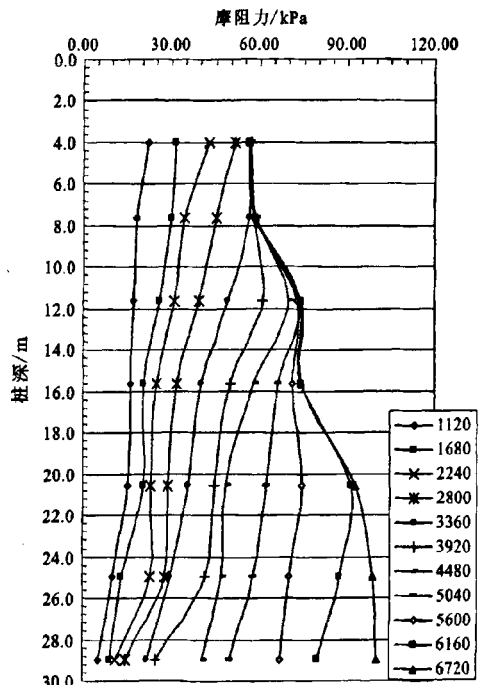


图3 天然区域摩阻力-承载力分布图

通过图3、图4可以看出,浅部10 m范围内,天然砂层区域,桩侧摩阻力在荷载3360 kN时几乎全部发挥,达到极限状态;经过处理后的区域,桩侧摩阻力有了很大地提高,4480 kN后,浅部侧摩阻力才全部发挥,浅部摩阻力提高了33%。处理后,浅部的处理效果明显。

### 3 承载力分析

对天然状态下29.0 m的灌注桩,将超出砂桩处理区域灌注桩的桩长部分进行折减,折减桩值为1198 kN,则24.0 m桩在天然状态下竖向抗压极限承载力值为5300 kN。通过对比发现,同样的桩长情况下,经过砂桩处理后,单桩竖向抗压极限承载力能够提高约17.1%,处理效果较明显。

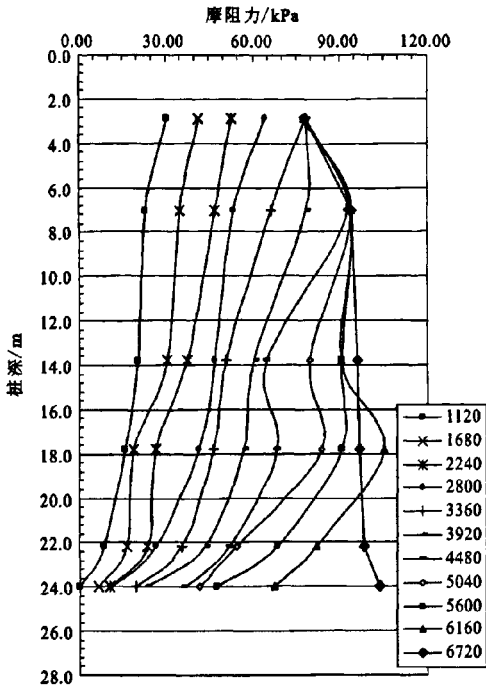


图4 砂桩处理区域摩阻力-承载力分布图

#### 4 侧阻力对比分析

对各层桩周土侧阻力进行对比,见图5。

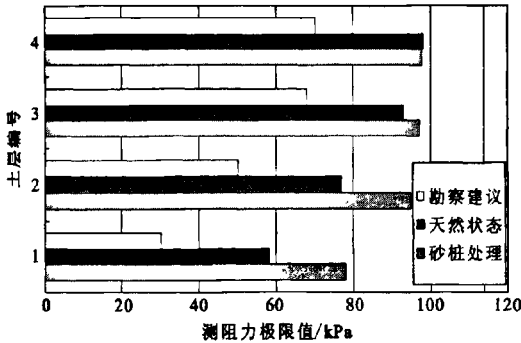


图5 各土层侧阻力对比图

由图5可以看出,通过振冲密实砂桩对浅部①、②层砂层进行处理后,侧阻力极限值明显比天然状态下有所增加,①、②层砂层侧阻力增加分别

为34%和23%;两种状态下测出的桩周土极限侧阻力与勘察建议值进行对比,发现通过泥浆护壁回转反循环钻成孔工艺进行灌注桩施工时,各层极限侧阻力值均有不同程度地增加。

由于施工工艺采用了泥浆护壁反循环工艺,各层砂层在动力水作用下发生位移及运动,砂层间的空隙不断被小的砂粒填充,砂层密实度增加,各层所提供的摩阻力增加,导致采用该种施工工艺后,承载力比勘察预估的有了很大地提高。同时浅部砂层经过振冲处理后,密实度增大,浅部的摩阻力比天然状态下有了较大幅度地增加。

#### 5 结论

1)灌注桩在沙漠区域能够很好地提高地基承载力,降低地基的不均匀沉降,保证其上部的大型建筑物的整体稳定性。

2)经过振冲密实砂桩处理后,钢筋混凝土灌注桩的承载力有了很大地提高,在不对承载力进行折减的情况下,24.0m的砂桩处理区域与29.0m的天然区域灌注桩承载力相当,同时缩短桩长,减少了在砂层区域的灌注桩施工难度,降低了成本。

3)灌注桩采用泥浆护壁反循环工艺时,由于其施工时对于砂层有一个振实加密的效果,实测承载力比原勘察报告有了很大地提高。

4)经过振冲密实砂桩处理后的砂层侧阻力比天然状态下有了较大地提高(侧阻力增幅可达23%~34%)。

#### 参考文献

[1] 张 炜,茹伯勋. 西安地区旋挖钻孔灌注桩竖向承载力特性的试验研究[J]. 岩土工程技术, 1999(4): 39-43.

[2] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑业出版社. 2007.

[3] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京:中国建筑业出版社. 2003.

收稿日期:2012-02-28