

# 大直径嵌岩后注浆钻孔灌注桩试桩分析

盛春陵<sup>1</sup>, 王守超<sup>2</sup>, 李仁民<sup>2</sup>

(1. 东南大学建筑设计研究院, 江苏 南京 210096; 2. 东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 桩基静载试验是一项方法成立、理论上无可争议的桩基检测技术。在确定单桩极限承载力方面, 它是目前最为准确、可靠的检验方法, 判定某种动载检验方法是否成熟, 均以静载试验成果的对比误差大小为依据。本文依托某 110 kV 变电站工程, 对该工程的 8 根大直径嵌岩后注浆钻孔灌注桩试桩, 进行了单桩竖向承载力静载荷试验及单桩抗拔承载力静载荷试验, 对测试结果进行了分析, 得出了有益的结论。

**关键词:** 钻孔灌注桩; 静载荷试验; 抗拔试验; 试桩分析

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0423-04

**作者简介:** 盛春陵(1963-), 上海人, 一级注册结构工程师, 从事结构设计工作二十年。E-mail: jsseu@126.com。

## Pile test analysis of large-diameter rock grouting bored piles

SHENG Chun-ling<sup>1</sup>, WANG Shou-chao<sup>2</sup>, LI Ren-min<sup>2</sup>

(1. Architectural Design Institute of Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering of Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The static load test on piles is a method established theoretically undisputed pile test technology. In determining the ultimate bearing capacity, it is the most accurate, reliable method to determine whether some kind of dynamic load test method is mature or not, that is, the magnitude of error of the static load test results is the basis. Based on a case of a 110 kV substation project, for eight large-diameter rock grouting bored piles, the static load tests on vertical bearing capacity and uplift capacity of single pile are carried out. The test results are analyzed, and some useful conclusions are drawn.

**Key words:** bored cast-in-place piles; static load test; uplift test; test pile analysis

## 0 引言

近年来, 随着城市建设的高速发展, 城市建设用地越来越少, 地下空间的开发和利用成为发展的必然趋势。大量带有地下车库的高层建筑, 以及地下管廊、下沉式广场的兴建, 使地下结构抗压、抗浮问题变得非常突出。

大直径嵌岩灌注桩因其单桩承载力高、沉降小等优点被广泛用于桥梁、高层建筑、重型厂房等建筑物基础, 采用桩底后注浆技术不仅可以大幅度提高基桩的承载能力、减少桩顶沉降量, 同时基桩的承载性状也会得到改善。

一般大型的地下工程基础通常采用桩基础的形式, 如何准确的预测桩基的抗压、抗拔承载力是亟需解决的问题。桩基静载试验是一项方法成立、理论上无可争议的桩基检测技术。在确定单桩极限承载力方面, 它是目前最为准确、可靠的检验方法, 判定某种动载检验方法是否成熟, 均以静载试验成果的对比误差大小为依据。

本文依托某 110 kV 变电站工程, 对该工程的 8

根试桩进行了单桩竖向承载力静载荷试验及单桩抗拔承载力静载荷试验, 对测试结果进行了分析。

## 1 工程概况及工程地质概况

拟建工程为 110 kV 变电站, 位于待建的小粉桥地块高层裙楼内, 为全室内变电站, 设一层地下室, 地下室开挖深度约 4.5 m。因待建的小粉桥高层建筑设计层高为 31 层, 柱底最大轴力约 28000 kN, 故拟采用桩基础, 拟建变电站与待建的高层裙楼采用相同的基础持力层。主要地层特征如下:

① 素填土: 杂色, 稍湿, 松散, 以煤渣、碎石等组成, 不均质, 堆填年龄小于 10 a。层底标高 6.93~8.55 m, 层厚约 2.50~4.20 m。

③-1 黏土: 黄色, 硬塑, 无摇振反应, 有光泽, 韧性、干强度高。层底标高 0.9~2.05 m, 层厚约 5.40~7.20 m。

③-2 粉质黏土夹粉土: 灰黄色, 可塑, 夹粉土薄

层,无摇振反应,稍有光泽,韧性、干强度中等。层底标高-5.00~-1.85 m,层厚约 3.80~5.90 m。

③-3 粉质黏土:灰色,可塑为主,局部软塑,无摇振反应,稍有光泽,韧性、干强度中高。层底标高-17.48~-12.45 m,层厚约 10.30~13.30 m。

③-4 粉质黏土:灰色—灰绿色,可塑,无摇振反应,稍有光泽,韧性、干强度高。层底标高-22.98~-21.12 m,层厚约 4.70~10.10 m。

④ 含卵砾石粉质黏土:灰色,中密—密实状,含量不均,卵砾石含量约 10%~20%,粒径 2~5 cm,成分以石英为主。层底标高-22.92~-22.31 m,层厚约 0.30~1.80 m。

⑤-1 强风化粉砂质泥岩:砖红色,密实,经强烈风化原岩结构已破坏,取岩芯呈砂土状,遇水软化,手捏易碎,岩体基本质量等级为 V 级。层底标高-24.95~-22.71 m,层厚约 0.40~2.40 m。

⑤-2 中等风化粉砂质泥岩:砖红色,局部为泥质粉砂岩,取岩芯呈柱状、短柱状,锤击易断,岩体基本质量等级为 V 级。层底标高-37.98~-33.21 m,层厚约 9.80~15.10 m。

场地的地下水类型主要为孔隙潜水,赋存于 1 层填土中。补给来源主要是大气降水与管道渗漏水入渗。排泄方式主要以自然蒸发为主。初见水位埋深 1.90~2.10 m,稳定水位埋深在 1.70~1.90 m,年水位变化幅度在 1.5 m 左右;按不利因素考虑,历史最高地下水位埋深可按 0.8 m 考虑。3-2 层粉质黏土夹粉土赋存少量孔隙承压水,各向异性;5 层含少量基岩裂隙水,对本工程基本无影响。

2 试桩概况

2.1 试桩位置

在场地内部施工 8 根钻孔灌注桩作为本次试验用桩,编号分别为#1~#8,其中#1~#8 桩进行单桩竖向承载力静载试验,#4~#8 在单桩竖向承载力静荷载试验结束后进行单桩竖向抗拔静载试验。

2.2 试桩参数

本次试桩的#1~#8 主要分为 3 组:①#1~#3 桩桩径 1500 mm,桩身内插入直径 600 mm 壁厚 30 mm 的钢管,钢管插入深度为 3.5 m,桩身混凝土等级 C45,管内混凝土等级 C60;②#4~#6 桩桩径 1000 mm,桩身混凝土等级 C45;③#7~#8 桩上部 5.0 m 桩径 1200 mm,5.0 m 以下桩径 1000 mm,桩身内插入直径 600 mm 壁厚 30 mm 的钢管,钢管插入深度为 2.5 m,桩身混凝土等级 C45,管内混凝土等级 C60。所有试桩均采用后注浆技术,桩长 40.1~43.4 m,且桩端进入

⑤-2 层中风化岩不小于 5 倍桩径。

各试桩参数如表 1。

表 1 试桩参数表

Table 1 Parameters of test piles

| 桩号 | 桩径/mm     | 桩长/m  | 砼标号     | 预估极限抗压承载力/kN |
|----|-----------|-------|---------|--------------|
| #1 | 1500      | 40.8  | C45/C60 | 27300        |
| #2 | 1500      | 40.6  | C45/C60 | 27300        |
| #3 | 1500      | 43.4  | C45/C60 | 27300        |
| #4 | 1000      | 40.4  | C45     | 20400        |
| #5 | 1000      | 42.94 | C45     | 20400        |
| #6 | 1000      | 40.3  | C45     | 20400        |
| #7 | 1000/1200 | 40.1  | C45     | 18900        |
| #8 | 1000/1200 | 40.9  | C45/C60 | 18900        |

3 单桩竖向承载力静载荷试验

3.1 试验方法

采用慢速维持荷载法:即先逐级加载,待该级荷载达到相对稳定后,再加下一级荷载,一直达到极限承载力,然后按每级加载量的两倍卸载到零。当出现下列现象之一时,可终止试验<sup>[1-2]</sup>:

(1) 某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍。当桩顶沉降能相对稳定且总沉降量小于 40 mm 时,宜加载至桩顶总沉降量超过 40 mm。

(2) 某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍,且经 24 h 尚未达到相对稳定标准。

(3) 已达到设计要求的最大加载量。

(4) 当工程桩作锚桩时,锚桩上拔量已达到允许值。

(5) 当荷载—沉降曲线呈缓变型时,可加载至桩顶总沉降量 60~80 mm;在特殊情况下,可根据具体要求加载至桩顶累计沉降量超过 80 mm。

单桩竖向抗压极限承载力可按下列方法综合分析确定:

(1) 根据沉降随荷载变化的特征确定:对于陡降型  $Q-s$  曲线,取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值。

(2) 根据沉降随时间变化的特征确定:取  $s-\lg t$  曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值。

(3) 出现某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍,且经 24 h 尚未达到相对稳定标准的情况时,取前一级荷载值。

(4) 对于缓变型  $Q-s$  曲线可根据沉降量确定,宜取  $s=40$  mm 对应的荷载值;当桩长大于 40 m 时,宜考虑桩身弹性压缩量;对直径大于或等于 8 mm 的桩,可取  $s=0.05D$  ( $D$  为桩端直径)对应的荷载值。

当按上述 4 款判定桩的竖向抗压承载力未达到极

限时, 桩的竖向抗压极限承载力应取最大试验荷载值。

3.2 试验结果及分析

单桩竖向承载力静载荷成果曲线如表 2、图 1 所示。

#1~#3 试桩由于采用了 1.5 m 的大直径桩, 单桩竖向承载力均较大。没有出现陡降型  $Q-s$  曲线;  $s-lgt$  曲线尾部没有出现明显向下弯曲特征; 加载至 27300 kN 时, #1~#3 试桩最大沉降量分别为 33.73, 31.61, 32.81 mm, 均未超过 40 mm。按规范规定的判定条件, 此时桩的竖向抗压承载力未达到极限状态, 桩的竖向抗压极限承载力应取最大试验荷载值。因此, 判定#1~#3 试桩的竖向抗压极限承载力为 27300 kN。

#4~#6 试桩由于采用了直径 1.0 m 的桩, 单桩竖向承载力较#1~#3 试桩有所减小。没有出现陡降型  $Q-s$  曲线;  $s-lgt$  曲线尾部没有出现明显向下弯曲特征; 加载至 20400 kN 时, #4~#6 试桩最大沉降量分别为 31.83, 29.72, 32.49 mm, 均未超过 40 mm。按规范规定的判定条件, 此时桩的竖向抗压承载力未达到极限状态, 桩的竖向抗压极限承载力应取最大试验荷载值。因此, 判定#4~#6 试桩的竖向抗压极限承载力为 20400 kN。

#7 试桩由出现了陡降型  $Q-s$  曲线, 竖向抗压极限承载力应取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值, 竖向抗压极限承载力取为 16200 kN。低于极限抗压承载力预估值。#8 试桩没有出现陡降型  $Q-s$  曲线;  $s-lgt$  曲线尾部没有出现明显向下弯曲特征; 加载至 18900 kN 时, #8 试桩最大沉降量为 35.65 mm, 未超过 40 mm。按规范规定的判定条件, 此时桩的竖向抗压承载力未达到极限状态, 桩的竖向抗压极限承载力应取最大试验荷载值。因此, 判定#8 试桩的竖向抗压极限承载力为 18900 kN。

对比#4~#6 与#7、#8 试桩的结果, 虽然#7、#8 试桩采用了桩身变截面、桩身插钢管且填充高标号混凝土的处理方法, 但#7、#8 试桩的竖向抗压极限承载力均小于#4~#6 试桩的竖向抗压极限承载力, 说明了场地内土层条件变化较大, 且#7、#8 试桩位置的土层条件较差, 导致了桩身侧摩阻力较小。

所有试桩中, 仅#7 试桩出现了陡降型  $Q-s$  曲线, 这可能是该处中风化岩埋藏较深, 导致了该处试桩桩端阻力不够, 建议对#7 试桩位置附近进行补勘, 同时设计时适当加长该处桩长。#1~#6、#8 试桩竖向极限承载力未达到极限状态, 竖向抗压极限承载力取最大试验荷载值, 即设计预估抗压极限承载力。因此, 设计具有较高的安全储备。同时, 建议加大荷载, 直至

出现符合规范判定的特征。

表 2 试桩竖向极限承载力表  
Table 2 Vertical ultimate bearing capacity of test piles

| 桩号 | 预估极限抗压承载力/kN | 竖向极限承载力/kN |
|----|--------------|------------|
| #1 | 27300        | 27300      |
| #2 | 27300        | 27300      |
| #3 | 27300        | 27300      |
| #4 | 20400        | 20400      |
| #5 | 20400        | 20400      |
| #6 | 20400        | 20400      |
| #7 | 18900        | 16200      |
| #8 | 18900        | 18900      |

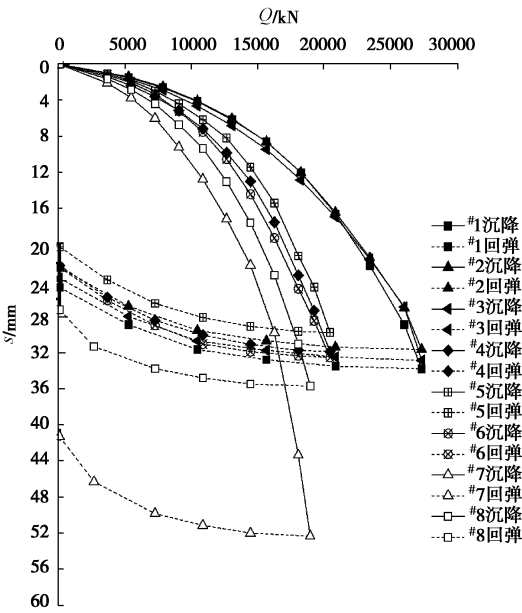


图 1 单桩竖向承载力静载荷成果曲线  
Fig. 1 Static load results of vertical bearing capacity

4 单桩竖向抗拔静载荷试验

4.1 试验方法

单桩竖向抗拔静载试验采用慢速维持荷载法。当出现下列情况之一时, 可终止加载<sup>[1-2]</sup>:

- (1) 在某级荷载作用下, 桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量 5 倍。
- (2) 按桩顶上拔量控制, 当累计桩顶上拔量超过 100 mm 时。
- (3) 按钢筋抗拉强度控制, 桩顶上拔荷载达到钢筋强度标准值的 0.9 倍。
- (4) 对于验收抽样检测的工程桩, 达到设计要求的最大上拔荷载值。

单桩竖向抗拔极限承载力可按下列方法综合判定:

- (1) 根据上拔量随荷载变化的特征确定：对陡变型  $Q-s$  曲线，取陡升起始点对应的荷载值；
- (2) 根据上拔量随时间变化的特征确定：取  $s-\lg t$  曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值。
- (3) 当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时，取其前一级荷载值。

4.2 试验结果及分析

单桩竖向抗拔承载力静载荷成果曲线如表 3、图 2 所示。

表 3 试桩竖向抗拔极限承载力表

| Table 3 Vertical uplift ultimate bearing capacity of test piles |              |            |
|---|--------------|------------|
| 桩号  | 预估抗拔极限承载力/kN | 抗拔极限承载力/kN |
| #4  | 5500         | 5500       |
| #5  | 5500         | 5500       |
| #6  | 5500         | 5500       |
| #7  | 5500         | 5500       |
| #8  | 5500         | 5500       |

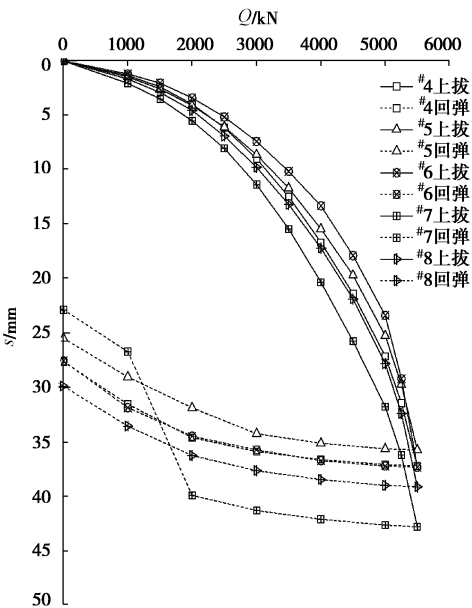


图 2 单桩竖向抗拔静载荷成果曲线

Fig. 2 Static load results of vertical uplift ultimate bearing capacity

#4~#8 试桩均没有出现陡降型  $Q-s$  曲线； $s-\lg t$  曲线尾部没有出现明显变陡或曲线尾部明显弯曲的特征；加载至 5500 kN 时，#4~#8 试桩最大上拔量分别为 37.19, 35.73, 37.32, 42.72, 39.11 mm。按规范规定的判定依据，判定#4~#8 试桩的竖向抗拔极限承载力为 5500 kN。#4~#8 试桩竖向抗拔极限承载力未达到极限状态，设计具有较高的安全储备，建议加大荷载，直至出现符合规范判定的特征。

5 结 论

- (1) 大直径嵌岩后注浆钻孔灌注桩能提供较高的竖向承载力，#1~#6、#8 试桩竖向极限承载力未达到极限状态，设计具有较高的安全储备，建议加大荷载，直至出现符合规范判定的特征。
- (2) 单桩竖向承载力静载荷试验中，#7 试桩出现了陡降型  $Q-s$  曲线，建议对#7 试桩位置附近进行补勘，同时设计时适当加长该处桩长。
- (3) 单桩竖向抗拔承载力静载荷中，#4~#8 试桩竖向抗拔极限承载力均未达到极限状态，设计具有较高的安全储备，建议加大荷载，直至出现符合规范判定的特征。

参考文献：

[1] JGJ106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 2003. (JGJ106—2003 Technical code for testing of building foundation piles[S]. 2003. (in Chinese))

[2] GB50202—2002 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S]. 2002. (GB50202—2002 Code for acceptance of construction quality of building foundation[S]. 2002. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)