

# 支盘灌注桩单桩承载力试验研究

谷爱民 李 岗 牛敏照

(核工业工程勘察院, 河南郑州 450002)

【摘 要】通过对支盘灌注桩受力机理的分析, 结合郑州某工程支盘灌注桩试桩资料, 利用不同的估算方法, 对支盘灌注桩单桩承载力进行了进一步的研究。

【关键词】支盘灌注桩; 受力机理; 单桩承载力

【中图分类号】TU 473.11

## Test study on the Bearing Capacity of Cast-in-place pile with Branches & plates

Gu Aimin Li Gang Niu Minzhao

(The Geotechnical Exploration Institute Of Nuclear Industry, Henan Zhengzhou 45002 China)

【Abstract】Through analyzing the bearing mechanism and the data of cast-in-place pile with branches and plates, the bearing capacity of single piles is further studied by using different estimated methods.

【Key Words】Cast-in-place pile with branches and plates; bearing mechanism; bearing capacity of single pile; estimate

### 0 引言

支盘灌注桩是在原等截面钻孔灌注桩基础上发展而来的一种桩基形式。它根据仿生学原理, 借助树根原理, 在主桩桩身不同部位, 利用特制专用挤扩或切削设备进行分支做盘, 而后灌注成型的一种新型钻孔灌注桩。它具有单桩承载力高、工程造价低、施工速度快等特点, 多应用于电力工程中的烟囱、冷却塔、煤罐、锅炉及主厂房等, 近年来逐渐开始应用于民用建筑基础工程中, 为这类桩的设计和施工积累了一定的经验。

支盘桩是一种新的桩型, 其成孔工艺特殊、受力机理复杂, 由于其设计理论及测试手段还不十分成熟, 有待进一步改进和完善。本文通过对支盘灌注桩受力机理的分析, 结合郑州某工程支盘灌注桩试桩资料, 对支盘灌注桩单桩承载力进行了进一步的研究。

### 1 支盘灌注桩的受力机理及单桩承载力的估算方法

由于支盘灌注桩是在原钻孔灌注桩的桩身不同部位设置了分支盘, 改变了桩的性能, 使其受力机理

更具复杂化, 目前对于支盘桩受力机理有许多不同的看法, 因而对单桩承载力的估算方法也不尽相同。

1) 《火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定》(DLGJ153-2000)认为, 支盘桩侧阻力先于桩端阻力发挥出来, 随着荷载增加, 桩侧阻力和桩端阻力以不同速率增长, 桩侧阻力逐渐趋于稳定, 而桩端阻力不断增加, 且上盘阻力先于下盘阻力发挥出来, 桩身总摩阻力减少而桩端阻力增加。根据收集的 12 个工程支盘桩试验资料, 摸索出了用土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定支盘桩单桩竖向极限承载力标准值的公式如下:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \sum \phi_i q_{pik} A_{pi} + q_{pk} A_p \quad (1)$$

式中:  $Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值, kN;  
 $Q_{sk}$ ——单桩总极限侧阻力标准值, kN;  
 $Q_{pk}$ ——单桩总极限端阻力标准值, kN;  
 $u$ ——主桩桩身周长, m;  
 $q_{sik}$ ——桩侧  $i$  层土的极限侧阻力标准值, kPa;

- $l_i$ ——桩穿越第  $i$  层土的厚度, 计算时应减去支盘段高度, m;
- $q_{pik}$ ——桩身上第  $i$  个支盘处土的极限端阻力标准值, kPa;
- $q_{pk}$ ——主桩底处土的极限端阻力标准值, kPa;
- $A_{pi}$ ——扣除主桩桩身截面积的支或盘的水平投影面积,  $m^2$ ;
- $A_p$ ——主桩桩端面积,  $m^2$ ;
- $\Psi_{pi}$ ——支盘极限端阻力标准值的修正系数。

2)《竖向荷载下支盘桩的荷载传递性状及承载力的确定》<sup>①</sup>认为, 桩的侧阻力的发挥与荷载大小、桩身不同位置及桩的相对位移有直接的关系。桩极限承载力的发挥过程实际上就是包括支盘在内的桩身各个部分与地基土之间摩擦阻力的充分发挥以及地基土发生塑性破坏的过程。因此, 对于同一桩来说, 桩的承载力的大小归根结底还是取决于土的强度。支盘处的阻力的最大值应不大于支盘处地基土的抗剪强度。因此, 根据土的强度来确定支盘处的阻力是有充分科学根据的。

表 1  $L_i$  的计算方法

粘土、粉土	砂土	碎石、卵石	其他
$H_i - 1.2h$	$H_i - (1.5 - 1.8)h$	$H_i - 1.8h$	$H_i - (1.1 - 1.2)h$

注:  $H_i$ ——土层厚度;  $h$ ——承力盘高度

从式(3)可以看出, 其设计理论与式(1)基本相同, 所不同的是:

- 1) 其桩侧阻力及端阻力的取值, 式(1)的取值是在没有地区经验的情况下按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—99)<sup>[1]</sup>取值, 式(3)则是按经验取值;
- 2) 侧阻力的折减系数不同, 式(1)是按支盘高度折减, 式(3)则是按表 1 折减。

从式(1)可以看出, 该式与文献[1]中确定普通灌注桩单桩竖向极限承载力标准值的公式基本上相同, 只是增加了支盘端阻力的部分。因此它只是把支盘的作用简化为比一般的等截面桩在桩端处增加了桩的直径, 上部支盘设置的多少则体现在侧摩阻力不同程度的增加上, 没有充分考虑桩的复杂的受力机理, 缺乏明确的土力学依据。

式(2)基于土力学理论推导出了承载力估算公式, 具有一定的理论依据, 但由于支盘桩的特殊的受

基于上述原理, 根据库伦强度理论, 土的抗剪强度为:  $\tau = c + \sigma \tan \varphi$ , 而支盘处与土接触面的水平倾角约为  $45^\circ$ , 地基土所受的法向应力为  $p \cdot \cos 45^\circ = p$ 。将土的粘聚力作为安全储备, 则土的强度的发挥是正常平面基础下强度的 0.707 倍, 参照根据土的物理指标进行桩的承载力计算公式, 参照文献[1]大直径灌注桩的端阻力尺寸效应系数的计算再乘以系数  $(0.8/D)^{1/4}$ , 在上述基础上进一步折减, 提出了支盘桩单桩竖向极限承载力计算公式如下:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \sum \Psi_{pi} q_{pik} A_{pi} \quad (2)$$

式中:  $\Psi_i$  为综合影响系数, 桩端处取 1, 承力盘处取 0.61 ~ 0.69 (盘的直径为 1.4 m 时取小值, 为 0.9 m 时取大值)。

3)《多支盘钻孔灌注桩在天津软土地地区的首例应用与分析》<sup>[1]</sup>提出了利用经验参数法确定多支盘钻孔灌注桩单桩竖向极限承载力标准值的计算公式为:

$$Q_{uk} = u \sum_{i=1}^n q_{sik} L_i + \sum_{j=1}^n q_{pj k} A_{pj k} + q_{pk} A_p \quad (3)$$

式中:  $L_i$ ——折减后桩周第  $i$  层土的厚度, m, 计算方法按表 1。

力机理, 式(2)把应力的扩散简单的按  $45^\circ$  扩散角考虑, 却未必合适, 它还需要大量的原位试验资料来检验和补充。

式(3)的受力机理与式(1)基本相同, 其单桩承载力估算方法较式(1)更为困难, 它要求设计者必须要有一定的地区经验。

另外在支盘桩支盘的施工过程中, 由于机械设备对桩周土的扰动、地基土的卸荷及支盘的上部斜面上会出现临空等因素的影响, 而使桩周土体侧摩阻力减小, 其影响范围按式(1)定为支盘的高度, 式(2)取支盘段及支盘以下 0.5 倍的支盘高度不计侧阻力, 式(3)按表 1 取值, 由于缺乏大量的试验资料, 无法判断哪种方法较合适。

从以上分析可以看出, 支盘灌注桩受力机理复杂, 其单桩承载力的计算方法, 不能简单的比拟于等截面钻孔灌注桩。支盘灌注桩属于多支盘摩擦端承

① 吴军帅. 竖向荷载下支盘桩的荷载传递性状及承载力的确定. 河南省电力勘测设计院, 2000

桩,在单桩承载力中起主要作用的是各支盘的端阻力,而端承力的大小取决于支盘附近地基土的强度,因此按式(2)提出的按地基土的强度确定支盘桩的承载力更符合土力学理论。

下面通过郑州某工程实例来阐述不同设计理论估算的单桩承载力与桩基检测结果的比较。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

拟建建筑物位于郑州市西郊,为七栋12层商住楼,拟采用支盘灌注桩基础。

拟建场地地形呈东西两级台阶式,西部地势较高,东部地势较低,两台阶上下高差约1.0 m,地貌单元属黄河I级阶地,建筑场地类别为II类,地震烈度为7度,地下水埋深29.5~31.7 m,对钢筋砼无腐蚀性。

该场地在实际钻探深度范围内的地层概况见典型钻孔柱状图(图1),相关参数见表2。

表2 地基土层的相关岩土工程指标

层号	天然含水量 w/%	重度 γ/ (kN·m <sup>-3</sup> )	天然孔隙比 e <sub>0</sub>	液性指数 I <sub>L</sub>	支盘桩设计参数	
					q <sub>si</sub>	q <sub>pk</sub>
①	19.4	18.5	0.744	0.25	64	
②	18.2	18.6	0.877	0.14	62	
③	13.1	18.0	0.702		58	1 500
④	14.9	18.2	0.710	0.19	60	1 550
⑤	15.7	19.2	0.632	-0.30	70	8 000
⑥	20.0	20.1	0.631	-0.04	85	2 400
⑥J	14.3	18.5	0.669	-0.44	65	1 700
⑦	22.4	19.7	0.693	0.08	80	2 600

混凝土强度等级采用C35。基桩施工采用干作业长螺旋钻成孔,二次液压挤密成盘。桩的剖面布置示意图见图2。

设计桩径630 mm,桩长12.0 m,分两盘,盘径为1.4 m,分别以第⑤层粉土混砂姜和第⑥层粉质粘土为持力层,按式(1)预估单桩竖向极限承载力标准值为6 000 kN。

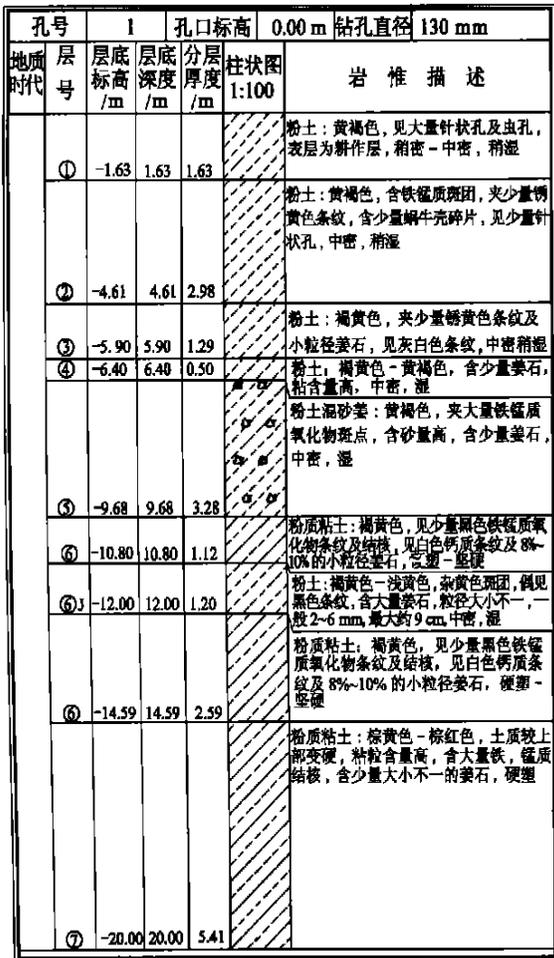


图1 典型钻孔柱状示意图

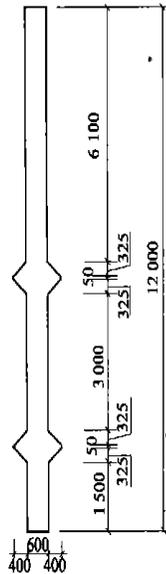


图2 桩的剖面布置示意图

### 2.2 工程试桩及其结果

鉴于支盘灌注桩的不成熟性,为保证工程的安全性,本工程进行了三组试桩,试桩平面布置见图3。施工完成后,对三组试桩分别进行了单桩静载荷试验和低应变桩身质量检测。低应变桩身质量检测结果反映出,本工程3根试桩,时域波形曲线规整、圆滑、无异常信号迭加,频域曲线主峰明显,并与底反

时间一致,其波形见图4。由此可以看出,桩体本身连续性好,桩身规则,支盘明显,混凝土结构密实,桩体无不良缺陷存在。

该基桩单桩竖向抗压极限承载力  $Q-s$  曲线见图5。

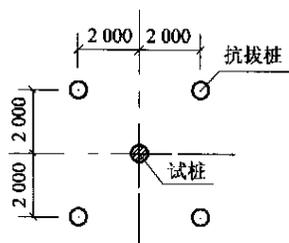


图3 试桩平面布置示意图

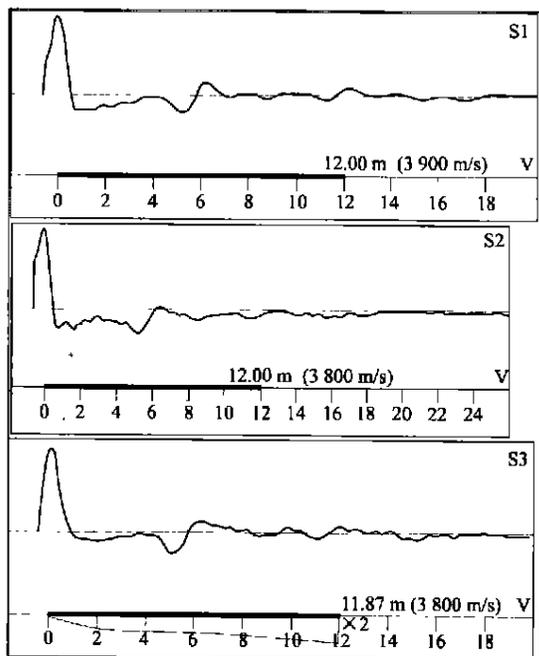


图4 低应变检测波形图

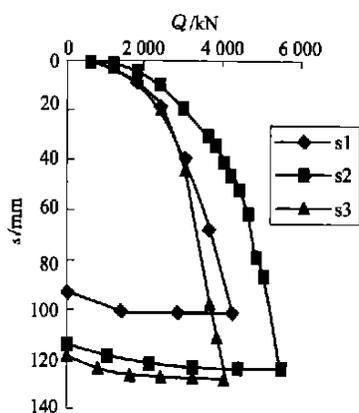


图5  $Q-s$  曲线

其试验结果如下:

$S_1$  试桩单桩竖向极限承载力 3 402 kN;

$S_2$  试桩单桩竖向极限承载力 4 534 kN;

$S_3$  试桩单桩竖向极限承载力 3 172 kN。

从静载荷试验结果可以看出,三组试桩其单桩竖向极限承载力均比桩的设计单桩竖向极限承载力偏低。

### 2.3 单桩承载力估算及结果分析

根据本场地地层情况,采用表2数据,分别按式(1)、式(2)、式(3)估算支盘桩单桩竖向极限承载力标准值。

#### 1) 按原设计参数的估算结果

两支盘的位置分别在 6.4~6.8 m 和 9.8~10.5 m (见图2),分别以第⑤层粉土混砂姜和第⑥层粉质粘土为持力层,其计算结果为 6 186 kN (设计时取 6 000 kN)、5 103 kN 和 6 143 kN。

#### 2) 参数调整后的估算结果

从低应变检测波波形图(图4)及施工现场了解,第一盘的位置在 4.95 m 处,从典型柱状图(见图1)可以看出,4.95 m 应在第④层粉土上,即第一盘以第④层粉土为持力层,而 9.8~10.5 m 则正好落在第⑥j 层粉土上,即第二盘以第⑥j 层粉土为持力层。

第一盘端阻力取第④层数据,第二盘端阻力取第⑥j 层数据,按式(1)、式(2)和式(3)计算支盘桩单桩竖向极限承载力标准值分别为 5 035、4 139 和 4 992 kN。

综合估算结果可以看出,按式(1)和式(3)估算所得结果与静载荷试验结果相差较大,按式(2)估算所得结果与静载荷试验结果最为接近,可见该文献所提出的支盘桩受力机理更为合理,它所提出的计算公式符合土力学理论,能真实反映支盘桩单桩竖向极限承载力的大小,具有较强的使用价值。

### 3 结论

支盘桩受力机理复杂,设计时对单桩承载力的估算,目前还没有成熟的理论计算模式,选择合适的计算模式,是设计估算单桩承载力的关键。通过对工程实例的分析可以看出,文献①提出的支盘桩受力机理,更符合土力学原理,根据其推导出的支盘桩单桩竖向极限承载力的估算方法,也最接近桩的静载荷试验结果,该公式具有较强的使用价值,可用于工程设计中。但由于支盘桩的复杂受力机理,该理论还有许多不确定的因素,有待于在今后的工程实践中进一步完善和发展。

#### 参 考 文 献

- 1 JGJ 94—94 建筑桩基技术规范

收稿日期: 2004-04-13

① 吴军帅: 竖向荷载下支盘柱的荷载传递性状及承载力的确定. 河南省电力勘测设计院, 2000