

挤扩支盘混凝土灌注桩的设计与应用

邸道怀,李云忠

(齐鲁石油化工设计院,山东 淄博 255400)

[摘要] 介绍了一种新型变截面桩—挤扩支盘混凝土灌注桩,讨论了桩的布置和承载力计算问题,并给出了修正后的单桩竖向承载力计算公式,指出了挤扩支盘混凝土灌注桩应用中应注意的几个问题。实践表明,这种新型桩适用范围广,可大幅度地降低基础工程造价。

[关键词] 挤扩支盘桩;设计;应用

[中图分类号] TU437.1⁺4

[文件标识码] B

[文章编号] 1007-9467-(2000)03-0009-03

一、概述

挤扩支盘灌注桩为一种新型变截面桩,是在普通混凝土灌注桩的基础上,从仿生学原理出发,仿树根根系结构,按照承载力要求和工程地质条件的不同,在桩身不同部位设置分支和承力盘而成,见图1。它的施工工艺方法及受力性能不同于一般树根桩,也不同于普通直线形混凝土灌注桩,而是一种介于摩擦桩和端承桩之间的变截面桩型。这种桩由主桩、分支、承力盘和在它周围挤密压实的固结料组成。

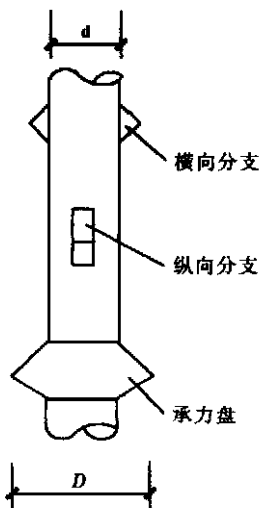


图1 挤扩支盘桩示意图

挤扩支盘桩提高承载力的机理,从直观上看,主要是通过增加承力盘(承力盘的作用类似于桩扩大头的作用)个数,扩大桩端承力,同时,增加桩身的比表面积(侧表面积与体积之比),提高桩侧摩阻力。

举例来说,对桩径为500mm的普通桩,端承面积为 $\pi \times 0.25^2 = 0.196 \text{ m}^2$,而支盘桩桩径仍为500mm,盘径1000mm,则端承面积为 $\pi \times 0.50^2 = 0.785 \text{ m}^2$,后者是前者的4倍;在桩身每增加一个承力盘,则增加端承面积为 $(0.50^2 - 0.25^2) =$

0.589 m^2 ,此数值相当于普通桩端承面积的3倍。

所以从理论上讲,多分支、多承力盘桩的承载力提高是十分可观的。

二、桩构造与布置

挤扩支盘桩的造型、尺寸、承力盘与分支的数量,根据上部建筑物的荷载、结构型式、地质情况及挤密扩盘专用设备等因素确定。桩的分支与承力盘的间距,可按表1采用。一般在桩柱周围每隔1.5m左右,设一个十字分支,在桩的下部可根据土质情况设2~3个盘。支盘桩的最小中心距一般在 $(1.5 \sim 2.3)D$ 或 $D + 1\text{m}$ (D 为承力盘的直径)。桩端持力层应选在较硬的土层中,层厚应大于3m。下卧层不可有软弱上层。

表1 分支与承力盘的间距

项次	桩径 d/mm	分支与承力盘的间距
1	400	$3.0 \sim 6.0d$
2	600	$4.0 \sim 5.0d$
3	800	$3.0 \sim 4.0d$

挤扩支盘桩混凝土采用C20或C25,配筋主筋用 $\phi 12 \sim \phi 16$,配筋长度一般要求伸至承力中心,最小不小于 $L/2$ (L 为桩长),配筋率 $\rho = 0.4\% \sim 0.6\%$ 箍筋用 $\phi 6 \sim \phi 10$,间距100~200mm,另设加强箍。

其余构造要求参《建筑桩基技术规范》GB 94-94。

三、单桩承载力计算

1. 单桩竖向极限承载力标准值的计算^[1]

单桩竖向极限承载力标准值 Q_{pk} 由主桩竖向极限承载力标准值 Q_{mk} 和分支、盘的竖向极限承载力标准值 Q_{bk} 组成。

$$Q_{pk} = Q_{mk} + Q_{bk} \quad (1)$$

$$\text{其中 } Q_{mk} = q_{bk} \cdot A_m + q_{sik} \cdot F_m$$

$$Q_{bk} = R_{pk} \cdot A_b \cdot \cos \alpha + f_{sik} \cdot F_b$$

式中 Q_{pk} ——主桩端极限端阻力标准值, kPa

A_m ——主桩端承力盘面积, m^2

q_{sik} ——主桩周围土的极限侧阻力标准值, kPa

F_m ——主桩土层分段的桩周表面积, m^2

R_{pk} ——桩分支(承力盘)端土的极限端阻力标准值, kPa

A_b ——桩分支(承力盘)底面积, m^2

f_{sik} ——桩分支(承力盘)周围土的极限侧阻力, kPa

F_b ——桩分支(承力盘)的桩周面积, m^2

——桩分支(承力盘)与水平面的夹角

2. 单桩抗拔极限承载力标准值的计算

$$U_k = i q_{sik} \cdot F_m + q_{pk} \cdot A_m + R_{pk} \cdot A_b \cdot \cos \theta + f_{sik} \cdot F_b + G \quad (2)$$

式中 i ——抗拔系数, 可查《建筑桩基技术规范》GB 94-94

表 5.2.18-2

q_{sik} ——主桩周围土的极限侧阻力标准值, kPa

F_m ——主桩周围土层分段的桩周表面积, m^2

q_{pk} ——承力盘上极限端阻力标准值, kPa

A_m ——承力盘环状面积, m^2

R_{pk} ——桩分支(承力盘)顶端上土极限端阻力标准值, kPa

A_b ——桩分支(承力盘)顶上面积, m^2

f_{sik} ——桩分支(承力盘)侧面土的极限侧阻力标准值, kPa

F_b ——桩分支(承力盘)侧面的表面积, m^2

G ——桩的自重, kN

——桩分支(承力盘)顶面与水平面的夹角

计算单桩抗拔极限承载力标准值时, 应根据工程地质条件、施工经验等因素乘以施工工艺系数 $\phi_c = 0.9 \sim 1.1$ 。

四、应用实例

某化工装置, 为三层现浇钢筋混凝土框架结构, 原设计为普通混凝土灌注桩, 后改为挤扩支盘桩(见图 2)。

依据岩土工程勘察报告, 场地属黄河三角洲第四纪新近沉积土层及一般第四纪沉积土层。分述如下:

层为耕植土层, 层厚 0.50~1.00m;

层为粉质粘土层, 层厚 2.00~2.70m, 呈流塑、软塑状态, $q_{sik} = 24kPa$;

层为粉土层, 中密, 层厚 1.30~2.10m, $q_{sik} = 35kPa$, $q_{pk} = 500kPa$;

层为淤泥质粘土, 流塑, 层厚 1.50~2.50m, $q_{sik} = 21kPa$;

层为粉土, 湿, 中密, 层厚 2.50~3.50m, $q_{sik} = 28kPa$, $q_{pk} = 400kPa$;

层为粉质粘土, 流塑, 层厚 2.00~2.70m, $q_{sik} = 24kPa$;

层为粉土, 湿, 密实, 层厚 3.00~4.00m, $q_{sik} = 38kPa$, $q_{pk} = 650kPa$;

层为粉质粘土与粉土互层, 灰色, 粉质粘土为流塑, 粉土为湿、中密, 层厚 3.30~4.00m。

取第 7 层粉土作为桩端持力层, 桩长 10.700m。

单桩竖向极限承载力标准值 Q_{pk} 的计算

$$q_{pk} = 650kPa, A_m = 1/4 \cdot \pi \cdot 0.5^2 = 0.196 m^2,$$

$$F_m = \pi \cdot d \cdot l_i = 1.57 l_i (l_i \text{ 为分段长度})$$

$$\begin{aligned} Q_{mk} &= q_{pk} \cdot A_m + \sum q_{sik} F_m \\ &= 650 \times 0.196 + 1.57 \times [0.8 \times 24 + (1.8-0.8) \times 35 \\ &\quad + 1.5 \times 21 + (3.0-0.8) \times 28 + 2.2 \times 24 + 0.6 \times 38] \\ &= 350.3kPa \end{aligned}$$

$$A_b = 1/4 \cdot \pi (1.2^2 - 0.5^2) = 0.935 m^2, \theta = 40.6^\circ$$

$$\begin{aligned} F_{b1} &= \sum \pi l a = \pi \sum \sqrt{b^2 + h^2} \cdot (R + r) \\ &= \pi [\sqrt{0.35^2 + 0.50^2} (0.25 + 0.60) \\ &\quad + \sqrt{0.35^2 + 0.30^2} (0.25 + 0.60)] \\ &= 1.63 m^2 (\text{承力盘侧表面积}) \end{aligned}$$

$$F_{b2} = 4 \times (\sqrt{0.35^2 + 0.50^2} \times 0.25 +$$

$$\sqrt{0.35^2 + 0.30^2} \times 0.25)$$

$$= 1.07 m^2 (\text{十字分支侧表面积})$$

$$\begin{aligned} \text{故 } Q_{bk} &= \sum R_{pk} A_b \cdot \cos \theta + \sum f_{sik} \cdot F_b \\ &= 650 \times 0.935 \times \cos 40.6^\circ + 400 \times 0.935 \times \cos 40.6^\circ \\ &\quad + 500 \times 4 \times 0.35 \times 0.25 \times \cos 40.6^\circ + 38 \times 1.63 \\ &\quad + 28 \times 1.63 + 35 \times 1.07 \\ &= 1023.2kPa \end{aligned}$$

$$Q_{pk} = Q_{mk} + Q_{bk} = 350.3 + 1023.2 = 1373.5kPa$$

如果只计入十字分支和承力盘的端承力, 不考虑摩阻力,

则

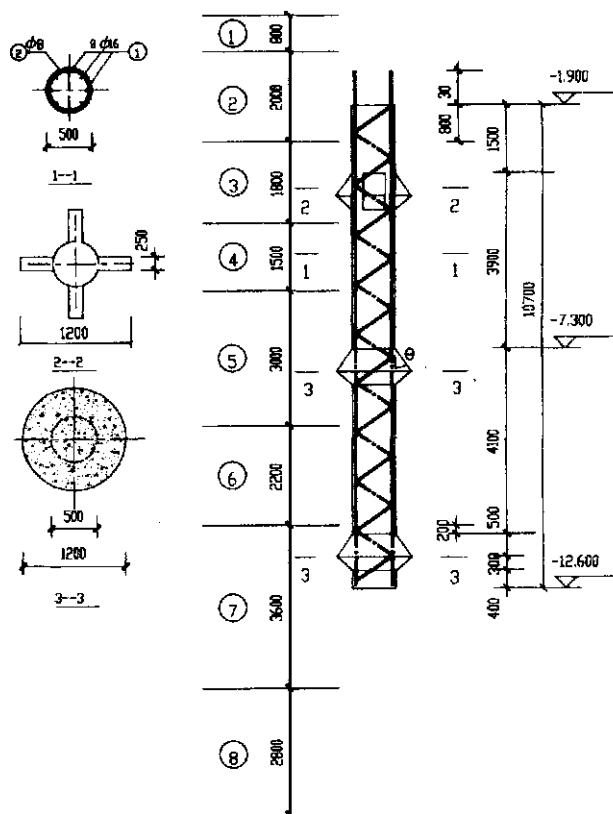


图 2 挤扩支盘桩图

$$Q_{bk} = R_{bk} \cdot A_b \cdot \cos = 650 \times 0.935 \times \cos 40.6^\circ + 400 \times 0.935 \times \cos 40.6^\circ + 500 \times 4 \times 0.35 \times \cos 40.6^\circ = 878.3 \text{ kPa}$$

$$Q_{pk} = Q_{mk} + Q_{bk} = 350.3 + 878.3 = 1228.6 \text{ kPa}$$

为了与普通混凝土灌注桩相对比,本工程对3根支盘桩和1根普通混凝土灌注桩进行了静载试验。普通混凝土灌注桩直径为600mm、长度为20.4m。静载试验结果:普通混凝土灌注桩极限承载力标准值为1215kN,支盘桩的极限承载力标准值分别为1125kN、1080kN、1080kN。

本工程同时对25根支盘桩的工程桩进行低应变动力测试,对5根支盘桩工程桩进行高应变动力测试。低应变测试结果表明,所测25根工程桩均无断桩、缩径、离析等不良现象发生。高应变测得的5根工程桩的单桩极限承载力标准值分别为1087kN、1012kN、1008kN、1065kN、1063kN,设计要求的单桩承载力设计值 $R = 600 \text{ kN}$,通过换算可知,支盘桩满足设计要求。

根据上述计算结果,可得出单方混凝土完成的承载力,见表2。

表2

	单桩混凝土 体积/ m^3	单桩极限承载 力标准值/ kN	单方混凝土完成 的承载力/ kN	单方混凝土承 载力之比
支盘桩	2.74	1080	394.2	1.87
普通桩	5.77	1215	210.6	

从单方混凝土完成的承载力对比可见,挤扩支盘桩 1 m^3 混凝土相当于普通桩 1.87 m^3 混凝土的作用。众所周知,桩基造价与混凝土量成正比,因挤扩支盘桩混凝土用量少,所以桩基造价降低。在同等承载力的情况下,挤扩支盘桩可降低造价30%~40%。

但从本工程实例也可看出,采用公式(1)计算出的单桩极限承载力标准值要大于静载试验得出的实测值。笔者认为,导致这一现象的主要原因有以下几方面:(1)上承力盘底部土体承担的荷载会通过土体传递给下一个承力盘,特别是当两个承力盘之间的间距较小时,这种影响更为显著;(2)由于地基土的变形随深度的增加而加大,各承力盘底部土体的变形相差很大,因而各承力盘底部土体不可能同时发挥极限承载能力;(3)由于承力盘对地基土的扰动和破坏,对高灵敏度的粘性土或超固结的硬粘土,承力盘周围土的抗剪强度或桩的附着力要比原状土低。像本工程的、三层就属于这类土。

结合本例及其它工程实例,笔者认为,在公式(1)中,计算分支、盘的竖向极限承载力标准值 Q_{pk} 时,端承载力应乘以一小于1的系数。可取0.7~0.9;分支和盘的侧阻力也应乘以一小于1的系数,可取0.5~0.6。

有时为安全起见,不考虑十字分支的承载力。

修正后的公式为:

$$Q_{uk} = Q_{mk} + Q_{bk}$$

$$\text{其中 } Q_{mk} = q_{pk} \cdot A_m + q_{sik} \cdot F_m$$

$$Q_{bk} = R_{pk} \cdot A_b + f_{sik} F_b \cdot \cos$$

式中 Q_{uk} ——主桩端的极限端阻力标准值, kPa

A_m ——主桩端承力盘面积, m^2

q_{sik} ——主桩周围土的极限侧阻力标准值, kPa

F_m ——主桩土层分段的桩周表面积, m^2

——桩分支、承力盘端承载力调整系数,取0.7~0.9

R_{pk} ——桩分支(承力盘)端土的极限端阻力标准值, kPa

A_b' ——桩分支、承力盘水平投影面积, m^2

——桩分支、承力盘侧阻力调整系数,取0.5~0.6

f_{sik} ——桩分支(承力盘)周围土的极限侧阻力, kPa

F_b ——桩分支(承力盘)的桩周面积, m^2

——桩分支(承力盘)与水平面的夹角

按修正后的公式计算上例得:

$$Q_{bk} = 0.8(650 \times 0.935 + 400 \times 0.935) + 0.5(38 \times 1.63 + 28 \times 1.63) \cos 40.6^\circ = 826.2 \text{ kPa}$$

$$\text{故 } Q_{uk} = Q_{mk} + Q_{bk} = 350.3 + 826.2 = 1176.5 \text{ kPa}$$

此值与实测值相近。

五、挤扩支盘桩设计中应注意的问题

目前,挤扩支盘桩的设计尚无国家标准可依,笔者认为设计中应注意以下问题:

1. 适用范围。挤扩支盘桩适用于粘性土、细砂土、砂中含少量姜结石及软土等多种土层,但不适用于淤泥质土、中粗砂层、砾石层及液化砂土层。

2. 工程勘察。对拟采用挤扩支盘桩的场地,除按常规的桩基要求提出详勘报告外,尚应要求提供每一层土的极限侧摩阻力标准值及极限端阻力标准值。

3. 承力盘的布置。承力盘的间距要满足要求,且应布置在土质较好、厚度较大的土层中,承力盘的数量不宜过多,一般取2~3个。

4. 桩的平面布置。要满足桩的间距要求,参照普通混凝土灌注桩,必要时考虑群桩效应。

5. 承载力。挤扩支盘桩的单桩承载力应通过静载试验来确定。一般在距顶端1.50m处设一十字分支,不考虑其承载力,仅作为增加桩的稳定性和安全储备用。

6. 试桩。挤扩支盘桩施工完毕后,必须进行静载试验,同时应按要求进行高应变、低应变动力测试。一般低应变动力测试数不少于桩总数的20%,且不得少于10根;高应变动力测试数不少于桩总数的10%,且不得少于5根。

[参考文献]

- [1] 江正荣. 地基与基础施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] 刘金砺. 桩基设计与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [3] JGJ 94-94 建筑桩基技术规范[S].

[收稿日期] 2000-03-27