

中国工程建设标准化协会标准

**挤扩支盘灌注桩技术规程**

Technical specification for cast-in-situ pile  
with expanded branches and plates

**CECS 192: 2005**

主编单位：北京交通大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2006年3月1日

中国建筑工业出版社

2005 北 京

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会(2004)建标协字第 05 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2004 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本规程。

挤扩支盘灌注桩是在灌注桩基础上发展起来的新型桩基技术,可作为承压桩或抗拔桩使用。

本规程的内容包括:总则、术语符号、基本规定、岩土工程勘察、设计、施工、质量检测及验收。

本规程所涉及的有效发明专利(专利号:89107846.0、94104550.1等,名称:挤扩支盘灌注桩,该桩的施工方法及成型机),使用者可按国家有关规定与专利权人联系处理(北京恒基中创基础工程有限公司,地址:北京朝阳区高碑店陶家湾 86 号;邮编:100022;联系电话:010—85766889,13601019086;电子信箱:beijinghjct@sina.com)。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,现批准发布协会标准《挤扩支盘灌注桩技术规程》,编号为 CECS 192:2005,推荐给工程建设、施工和使用单位采用。

本规程由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会 CECS/TC 27 归口管理,由北京交通大学隧道与岩土工程研究所(北京市西直门外上园村 3 号,邮编:100044,联系电话:010—51688117)负责解释。在使用中,如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

**主编单位:**北京交通大学

**参编单位:**北京恒基中创基础工程有限公司

北京城建设计研究总院有限责任公司

北京市建筑设计研究院

北京市勘察设计研究院

国电华北电力设计院工程有限公司

主要起草人：唐业清 张晓玲 崔江余 韩顺和 杨桂芹

薛慧立 苗启松 杨素春 李兴利 张国栋

中国工程建设标准化协会

2005年12月25日

## 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术语、符号 .....	( 2 )
2.1	术语 .....	( 2 )
2.2	符号 .....	( 2 )
3	基本规定 .....	( 4 )
4	岩土工程勘察 .....	( 7 )
4.1	勘探点间距 .....	( 7 )
4.2	勘探深度 .....	( 7 )
4.3	重点内容 .....	( 7 )
4.4	勘察报告 .....	( 8 )
5	设 计 .....	( 9 )
5.1	适用条件 .....	( 9 )
5.2	桩基设计 .....	( 9 )
5.3	桩基计算 .....	( 11 )
6	施 工 .....	( 17 )
6.1	一般规定 .....	( 17 )
6.2	水下成孔施工 .....	( 18 )
6.3	干法施工 .....	( 19 )
7	质量检测及验收 .....	( 20 )
7.1	一般规定 .....	( 20 )
7.2	成桩质量检测 .....	( 20 )
7.3	基桩检测 .....	( 21 )
7.4	工程验收 .....	( 22 )
附录 A	LZ 挤扩支盘机示意 .....	( 24 )

附录 B 盘径测量仪示意 .....	(25)
附录 C 挤扩支盘施工记录表 .....	(27)
附录 D 常见土层中承力盘首次挤扩压力参考值 .....	(28)
本规程用词说明 .....	(29)
附:条文说明 .....	(31)

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在建筑基础等工程中合理采用挤扩支盘灌注桩(简称挤扩支盘桩,下同),贯彻国家技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、因地制宜、确保质量、保护环境,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工业与民用建(构)筑物、市政等工程中挤扩支盘灌注桩的勘察、设计、施工及验收。

**1.0.3** 采用挤扩支盘灌注桩的工程,应根据岩土工程勘察资料、工程特点、场地环境、使用要求、材料供应、施工条件等因素和有关规定,精心设计、精心施工。

**1.0.4** 采用挤扩支盘灌注桩时除应执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术 语

**2.1.1 挤扩支盘灌注桩** cast-in-situ pile with expanded branches and plates

采用挤扩工艺在钻孔侧面不同部位形成若干个分支和承力盘的钢筋混凝土灌注桩。

**2.1.2 分支** cross branches

为提高灌注桩的支承力而在桩上设置的支状体。其成型过程是:在桩孔中用专用设备向外挤扩一次形成一组对称的分支腔,将设备转动 90 度形成一组十字形分支腔,灌注混凝土后在桩上形成十字形的分支。分支可简称支。

**2.1.3 承力盘** bearing plate

为提高灌注桩的支承力而在桩上设置的盘状体。其成型过程是:通过支盘机转动连续挤扩形成承力盘腔,灌注混凝土后在桩上形成承力盘。承力盘可简称盘。

**2.1.4 挤扩压力** squeeze-expansion pressure

支盘机在土体中挤扩时,机附液压表显示的油缸压力。

### 2.2 符 号

$A_D$ ——群桩底部投影面积;

$A_p$ ——单桩底盘投影面积;

$A_{pj}$ ——扣除桩身截面的底盘投影面积;

$a, c$ ——桩群长度和宽度方向外围桩的中心距;

$b$ ——单支宽度(弓压臂宽度);

$d$ ——桩干直径;

$D$ ——承力盘直径；  
 $E_{si}$ ——第  $i$  层土的压缩模量；  
 $h_g$ ——桩根长度；  
 $h_p$ ——竖向盘间距；  
 $h$ ——承力盘高度；  
 $H_i$ ——第  $i$  层土厚度；  
 $L_i$ ——桩穿越第  $i$  层土折减盘高后的有效厚度；  
 $l$ ——桩入土长度；  
 $n$ ——沉降计算时土的分层数；  
 $P$ ——桩顶荷载；  
 $q_p$ ——底盘所在土层的极限端阻力标准值；  
 $q_{pj}$ ——第  $j$  盘处土的极限端阻力标准值；  
 $q_{si}$ ——第  $i$  层土桩身极限侧阻力标准值；  
 $Q_u$ ——单桩竖向极限承载力标准值；  
 $R_a$ ——单桩竖向抗压承载力特征值；  
 $U_u$ ——单桩抗拔极限承载力标准值；  
 $u$ ——桩干周长；  
 $\alpha$ ——桩侧剪应力扩散角；  
 $\psi$ ——沉降经验系数；  
 $\psi_c$ ——桩基等效沉降系数；  
 $\eta$ ——盘底土层端阻力修正系数；  
 $\lambda_i$ ——桩周第  $i$  层土侧阻力折减系数；  
 $\alpha_i$ ——第  $i$  层土底部平均附加应力系数；  
 $\alpha_{i-1}$ ——第  $i$  层土顶部平均附加应力系数；  
 $z_i$ ——第  $i$  层土底面到桩底平面的距离；  
 $z_{i-1}$ ——第  $i$  层土顶面到桩底平面的距离。



### 3 基本规定

3.0.1 根据地基的复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于桩基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,按表3.0.1确定挤扩支盘桩基的设计等级。

表 3.0.1 挤扩支盘桩基设计等级

桩基设计等级	建筑和地基类型
甲级	1 重要的工业与民用建筑物; 2 场地和地基条件复杂的一般建筑物; 3 30层以上或高度大于100m的高层建筑; 4 体形复杂,层数相差多于10层的高低层连成一体的建筑物; 5 对桩基变形有特殊要求的建筑物; 6 对相邻既有工程影响较大的新建建筑物; 7 一柱一桩的建筑物
乙级	除甲级、丙级以外的建筑物
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的不高于7层的民用建筑物;一般的工业建筑物;次要的轻型建筑物

3.0.2 桩基设计前,场地勘察应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.3 桩基的设计及施工应具备下列资料:

- 1 建筑场地岩土工程勘察报告;
- 2 建筑场地环境条件的有关资料:
  - 1) 建筑场地的平面图,包括周围建筑物、交通设施、地上和地下管线、地下构筑物的情况;
  - 2) 相邻建筑物的安全等级、基础型式、埋置深度等;
  - 3) 周围建筑物和基坑边坡的防振要求,桩基施工防噪声要求;
  - 4) 泥浆排放、弃土条件;

5)水电和有关建筑材料的供应条件;

6)建筑基坑型式和红线资料。

**3 建筑物的有关资料:**

1)建筑物总平面布置图和主要剖面图;

2)建筑物结构类型、荷载和对桩基竖向位移、水平位移的要求;

3)建筑物安全等级、抗震设防类别、设防烈度等。

**4 该地区挤扩支盘桩和其他桩的设计、施工、静载荷试验等相关资料;**

**5 施工机械设备对场地地质条件、环境条件的适应性和进出场、现场运行条件等。**

**3.0.4 桩基的设计应符合下列原则:**

**1 应根据工程的具体要求,分别对桩基进行承载力和变形计算。计算时荷载组合应按国家现行有关标准的规定执行;**

**2 单桩竖向抗压承载力特征值应符合下列规定:**

1)设计等级为甲级的建筑物桩基,应通过静载荷试验确定;

2)设计等级为乙级的建筑物桩基,应参照地质条件相同的试桩资料,结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定。当缺乏可参照的试桩资料或地质条件复杂时,应通过静载荷试验确定;

3)设计等级为丙级的建筑物桩基,可根据原位测试和经验参数确定。

**3 单桩竖向抗拔承载力特征值应符合下列规定:**

1)设计等级为甲、乙级的建筑物桩基,应通过静载荷试验确定;

2)设计等级为丙级的建筑物桩基,可参照地质条件相同的试桩资料,结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定。当缺乏可参照的试桩资料或地质条件复杂时,应通过静载荷试验确定。

4 单桩水平承载力特征值的确定应按国家现行有关标准执行；

5 单桩静载荷试验应按国家现行有关标准执行。

3.0.5 下列建筑物的桩基应进行沉降观测：

1 桩基设计等级为甲级的建筑物；

2 桩基设计等级为乙级的建筑物有下列情况时：

1) 体形复杂、荷载不均匀或地基不均匀的建筑物。

2) 桩端下有软弱下卧层的建筑物。

3) 对沉降有特殊要求的建筑物。

## 4 岩土工程勘察

### 4.1 勘探点间距

4.1.1 勘探点间距宜为 20~30m。当土层的性质或状态在水平方向分布变化较大或存在可能影响成桩的土层时,应适当加密勘探点。对独栋建筑不应少于 4 个勘探点。

4.1.2 复杂地质条件下的柱下单桩基础,应按柱列线布置勘探点,并每柱宜设一个勘探点。

### 4.2 勘探深度

4.2.1 应布置  $1/3 \sim 1/2$  的勘探孔作为控制性孔。对于桩基设计等级为甲级的建筑物,场地上应布置不少于 3 个控制性孔;对于桩基设计等级为乙级的建筑物,应布置不少于 2 个控制性孔。控制性孔应穿透预计桩端平面以下的软弱下卧层;一般性勘探孔应深入预计桩端平面以下 3~5m,且不得少于 2~3 倍盘径。

### 4.3 重点内容

4.3.1 在勘探深度范围内的每一地层,均应进行室内试验或原位测试,提供设计所需参数。

4.3.2 应查明拟建场区地层竖向、横向的分布情况。

4.3.3 应查明适于布置支、盘的土层位置,以及该土层的物理、力学性能,提供确定桩身极限侧阻力标准值  $q_s$  和桩端土极限端阻力标准值  $q_p$  的测试指标。

4.3.4 应查明影响挤扩支盘桩承载力和施工的地下水情况,包括实测静止水位、历年最高地下水位、近 3~5 年最高地下水位、地下水类型、多层地下水分布和对桩身材料有无腐蚀性等。

#### 4.4 勘察报告

- 4.4.1 按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 和本规程的要求,整理编写岩土工程勘察报告。
- 4.4.2 对于建筑场地的不良地质作用,如滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等,应有明确的判断结论和防治方案。
- 4.4.3 应有已确定的和预测的地下水位和地下水的腐蚀性资料。
- 4.4.4 应有抗震设防区的液化地层资料,综合确定液化等级。
- 4.4.5 根据有关地基土的冻胀性、湿陷性、膨胀性的资料,作出岩土工程评价。
- 4.4.6 根据场地条件,评价挤扩支盘桩方案的适宜性。

## 5 设计

### 5.1 适用条件

5.1.1 在下列土层中可设置分支和承力盘:可塑至硬塑的黏性土;中密至密实的粉土、砂土或卵砾石层;全风化岩、强风化软质岩石。

5.1.2 采用干法施工在砂性土中和采用水下施工在黏性土中设置承力盘,应通过试验检查成盘的可行性。

### 5.2 桩基设计

5.2.1 桩基的选型和布置应符合下列要求:

1 挤扩支盘灌注桩的桩径、桩长和支盘尺寸应根据工程地质条件、单桩承载力和施工机具的结构尺寸确定。当使用 LZ 系列挤扩支盘机时,挤扩支盘桩的主要构造尺寸可按表 5.2.1 的规定采用。

表 5.2.1 挤扩支盘桩主要构造尺寸(mm)

桩干直径 $d$	单支临界宽度 $b$	承力盘直径 $D$	承力盘高度 $h$
400~500	200	900	500
600~700	280	1400	700
800~1100	380	1900	900

注:1 LZ 系列挤扩支盘机示意图见附录 A;

2 水下施工时,最小桩干直径不应小于 500mm;

3 水下施工时,表中桩干直径 600~700mm、800~1100mm 应分别调整为 620~700mm、820~1100mm。

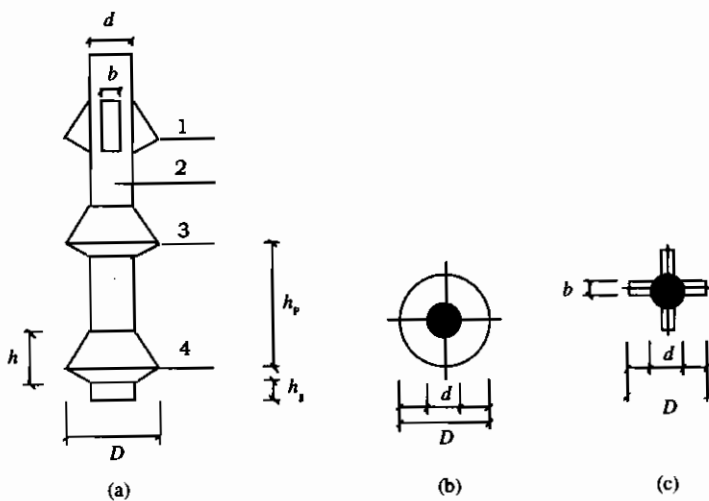


图 5.2.1 挤扩支盘桩桩身构造

- |        |                  |             |
|--------|------------------|-------------|
| 1—十字分支 | $b$ —单支宽度        | $h$ —承力盘高度  |
| 2—桩干   | $d$ —桩干直径(桩径)    | $h_g$ —桩根长度 |
| 3—上承力盘 | $D$ —承力盘(十字分支)直径 | $h_p$ —盘间距  |
| 4—底承力盘 |                  |             |

2 挤扩支盘桩的布置,应根据建筑物上部结构的类型和地基持力层的特性区别对待,可采用单桩或多桩基础;

3 挤扩支盘桩的最小中心距不宜小于  $3d$  和  $1.5D$ ;

4 每根承压挤扩支盘桩的盘数不宜多于 4 个,抗拔挤扩支盘桩的盘数宜为 1~2 个。挤扩支盘桩竖向最小盘间距不应小于  $2D$ ;

5 挤扩支盘桩的承力盘应设在土层结构稳定、压缩性较小、承载力较高、层厚较大的土层中。设置承力盘的承载土层厚度宜大于  $2D$ ;

6 承力盘底进入持力层的深度不宜小于  $0.5 \sim 1.0h$ ;桩根长度  $h_g$  不宜小于  $1d$ 。桩端以下持力层厚度不宜小于  $1.5D$ ,当存在软弱下卧层时,桩端以下持力层厚度不宜小于  $2D$ 。

5.2.2 挤扩支盘桩的桩身构造除满足国家现行有关标准的规定外,尚应满足下列规定:

1 桩干配筋率宜采用 0.3%~0.65%(小桩径取高值,大桩径取低值);对受荷载特别大的桩和抗拔桩宜根据计算确定配筋率。

2 配筋长度应符合下列要求:

1)对以底承力盘为主受力的挤扩支盘桩,宜沿桩身通长配筋;短桩宜通长配筋;对不以底承力盘为主受力的长桩,配筋长度不宜小于 2/3 桩长,且钢筋端部宜延伸至相邻盘底面 500mm 以下;对竖向承载力较高的单桩,宜沿深度分段变截面通长配筋;当桩身周围有淤泥质土和液化土层时,配筋长度应穿过该软弱土层;对承受负摩阻力的桩和位于坡地岸边的桩应沿桩身通长配筋;

2)抗拔挤扩支盘桩应通长配筋;因地震作用、冻胀或膨胀力作用而承受拔力的挤扩支盘桩,应通长配筋。

3 挤扩支盘桩桩身的混凝土强度等级不得低于 C25;主筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm,水下灌注混凝土时不应小于 50mm。

### 5.3 桩基计算

5.3.1 单桩竖向承载力的特征值  $R_a$  应按下列式确定:

$$R_a = \frac{Q_u}{K} \quad (5.3.1)$$

式中  $Q_u$ ——单桩竖向抗压极限承载力标准值(kN);

$K$ ——安全系数,取  $K=2$ 。

5.3.2 当根据土的物理力学性质指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗压极限承载力标准值时,宜按下列公式估算:

$$Q_u = u \sum q_{si} L_i + \sum \eta q_{pj} A_{pj} + \eta q_p A_p \quad (5.3.2)$$

式中



- $u$ ——主桩桩干周长(m);
- $L_i$ ——当第  $i$  层土中设置承力盘时,桩穿越第  $i$  层土折减盘高的有效厚度,按表 5.3.2-1 的计算方法确定;
- $q_{si}$ ——桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值,可按勘察报告提供的值采用,也可参照当地经验或国家现行相关标准的规定取值;
- $\eta$ ——盘底土层极限端阻力标准值的修正系数;水下作业时可按表 5.3.2-2 的规定取值;干作业可参照表 5.3.2-3 的规定取值;
- $A_p$ ——单桩底盘投影面积( $m^2$ );
- $A_{pj}$ ——第  $j$  盘扣除桩身截面积的盘投影面积( $m^2$ );
- $q_p$ ——底盘所在土层的极限端阻力标准值(kPa),可参照表 5.3.2-4 的规定采用;
- $q_{pj}$ ——第  $j$  个盘处土层的极限端阻力标准值(kPa),可参照表 5.3.2-4 的规定采用。

表 5.3.2-1  $L_i$  的计算方法

土层名称	公 式
黏性土、粉土	$L_i = H_i - 1.2h$
砂土	$L_i = H_i - (1.5 \sim 1.8)h$
碎石类土	$L_i = H_i - 1.8h$
其他	$L_i = H_i - (1.1 \sim 1.2)h$

注:1 其中,  $H_i$  为第  $i$  层土的厚度;

2 未设置承力盘时  $h=0$ 。

表 5.3.2-2 水下作业盘底土层极限端阻力标准值修正系数  $\eta$

承力盘位置 \ 盘径 (mm)	盘径 (mm)		
	900	1400	1900
上盘	1.3	0.95	0.9
中盘	1.2	0.85	0.8
下盘	1.1	0.75	0.7

注:1 当盘底部持力层土厚度小于  $4d$  时,表中取值宜适当折减;

2 表中,上盘、下盘以外的所有盘均称“中盘”。

表 5.3.2-3 干法作业盘底土层极限端阻力标准值修正系数  $\eta$

土层名称	硬塑黏土	可塑黏土	粉土	粉砂	细砂	中粗砂
$\eta$	0.6~0.8	0.8~1.0	0.8~1.0	0.8~0.9	0.6~0.7	0.4~0.5

表 5.3.2-4 盘底处土层的极限端阻力标准值  $q_p$ 、 $q_{pj}$  (kPa)

土层名称	桩型 土的状态	水下作业时承力盘距桩顶的距离(m)				干作业时承力盘距 桩顶的距离(m)		
		5	10	15	$h>30$	5	10	15
黏性土	$0.75 < I_L \leq 1$	150~250	250~300	300~450	300~450	200~400	400~700	700~950
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	350~450	450~600	600~750	750~800	500~700	800~1100	1000~1600
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	800~900	900~1000	1000~1200	1200~1400	850~1100	1500~1700	1700~1900
	$0 < I_L \leq 0.25$	1100~1200	1200~1400	1400~1600	1600~1800	1600~1800	2200~2400	2600~2800
粉土	$0.75 < e \leq 0.9$	300~500	500~650	650~750	750~850	800~1200	1200~1400	1400~1600
	$e \leq 0.75$	650~900	750~950	900~1100	1100~1200	1200~1700	1400~1900	1600~2100
粉砂	稍密	350~500	450~600	600~700	600~700	500~950	1300~1600	1500~1700
	中密、密实	700~800	800~900	900~1100	1100~1200	900~1000	1700~1900	1700~1900
细砂	中密、密实	1000~1200	1200~1400	1300~1500	1400~1500	1200~1400	2100~2400	2400~2700
中砂		1300~1600	1600~1700	1700~2200	2000~2200	1800~2000	2800~3300	3300~3500
粗砂		2000~2200	2300~2400	2400~2600	2700~2900	2900~3200	4200~4500	4900~5200
砾砂		1800~2500				3600~5300		
角砾、圆砾	中密、密实	1800~2800				4000~7000		
碎石、卵石		2000~3000				6000		

注：水下作业时，砂性土（细砂、中砂、粗砂）的取值应同时参考该处土层的标准贯入击数。当细砂标准贯入击数较高（如大于 50 击）时，表中取值应当适当提高；当中粗砂标准贯入击数较低（低于 30~40 击）时，表中取值应当适当降低。

5.3.3 当根据土的物理力学指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗拔极限承载力标准值时，宜按下列公式估算：

$$U_u = u \sum \lambda_i q_{si} L_i + \sum \eta q_{pj} A_{pj} \quad (5.3.3)$$

式中  $U_u$ ——单桩竖向抗拔极限承载力标准值(kN)；

$\lambda_i$ ——桩周第  $i$  层土的侧阻力折减系数，按表 5.3.3 的规定取值；

$q_{pj}$ ——桩身第  $j$  个盘顶部土层的极限端阻力标准值(kPa)，可按表 5.3.2-4 的规定取值。

表 5.3.3 桩周第  $i$  层土侧阻力折减系数

土层名称	$\lambda$ 值
砂土	0.50~0.70
黏性土、粉土	0.70~0.80

5.3.4 挤扩支盘桩的单桩水平承载力特征值应通过现场水平荷载试验确定;也可按桩径为  $d$  的普通灌注桩水平承载力估算。

5.3.5 桩身承载力和抗裂控制应按下列规定计算:

1 挤扩支盘桩桩身承载力和抗裂控制计算应按国家现行有关灌注桩标准的规定执行;

2 当桩干直径  $d$ 、支盘直径  $D$  和支盘高度  $h$  符合表 5.2.1 的规定时,可不进行支、盘混凝土的抗剪、抗弯计算。

5.3.6 对于桩中心距不大于 6 倍桩径的群桩基础,其最终沉降量应采用等效分层总和法计算。应以挤扩支盘桩底盘为等效作用面,等效作用面面积应采用群桩部的投影面积。桩底附加应力  $p_0$  按承台底的  $p_0$  取值。桩底以下的应力分布按各向同性半无限弹性体理论确定(图 5.3.6)。附加应力引起的矩形基础中点沉降应按下列公式计算:

$$s = 4\psi\psi_e \sum_{i=1}^n \frac{p_0(z_i\alpha_i - z_{i-1}\alpha_{i-1})}{E_n} \quad (5.3.6-1)$$

$$p_0 = \frac{P}{A_D} \quad (5.3.6-2)$$

$s$ ——矩形基础中点的沉降量(m);

$\psi_e$ ——桩基等效沉降系数,按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定确定;

$\psi$ ——沉降经验系数,按表 5.3.6 的规定确定;

$n$ ——沉降计算土的分层数;

$p_0$ ——群桩底部扩大盘外围面积上的附加应力(kPa);

$z_i$ ——第  $i$  层土底面到桩底平面的距离(m);

$z_{i-1}$ ——第  $i$  层土顶面到桩底平面的距离(m);

- $\alpha_i$ ——基底至第  $i$  层土底部角点的平均附加应力系数,按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定取值;
- $\alpha_{i-1}$ ——基底至第  $i$  层顶部角点的平均附加应力系数,按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定取值;
- $E_{si}$ ——第  $i$  层土的压缩模量(MPa),取对应于第  $i$  层土自重应力至土自重应力与附加应力之和压力段的压缩模量;
- $P$ ——承台底面的竖向合力(kN);
- $A_D$ ——群桩底部扩大盘外围的投影面积( $m^2$ ),  $A_D = (a + D)(c + D)$ ;
- $a, c$ ——群桩外围桩中心距的长度和宽度(m);
- $D$ ——盘直径(m)。

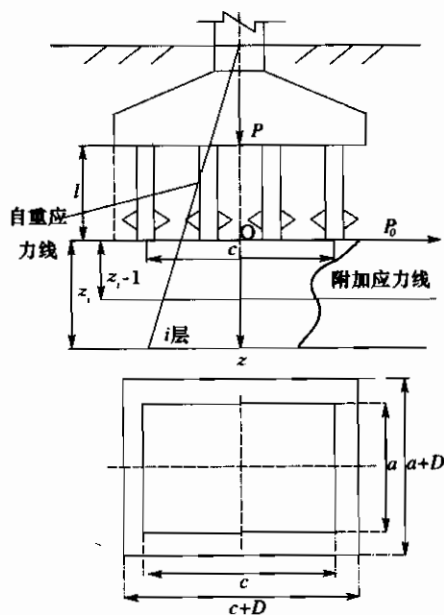


图 5.3.6 桩基沉降计算

表 5.3.6 桩基沉降经验系数  $\psi$

$E_s$ (MPa)	$E_s < 15$	$15 \leq E_s < 30$	$30 \leq E_s < 40$
$\psi$	0.6	0.5	0.3

注： $E_s$  为沉降计算深度范围内压缩模量的当量值，按公式计算： $E_s = \sum A_i / \sum \frac{A_i}{E_{si}}$ ，

式中， $A_i$  为第  $i$  层土附加应力系数沿土层厚度的积分值，可近似按分块求积计算。

## 6 施 工

### 6.1 一般规定

6.1.1 挤扩支盘灌注桩施工前,应具备下列资料:

- 1 场地岩土工程勘察资料;
- 2 桩基工程施工设计图;
- 3 工程控制坐标点、水准点;
- 4 地下管线和其他障碍物资料;
- 5 桩基工程的施工组织设计;
- 6 原材料及其制品的质检报告。

6.1.2 挤扩支盘桩施工应采用经检验合格的挤扩支盘机(附录 A),并应满足下列要求:

- 1 挤扩支盘机应有足够的动力,满足承力盘挤扩成型的要求;
- 2 挤扩支盘机应安装防缩径套管装置(附录 A);
- 3 挤扩支盘机的弓压臂宽度 $b$ 不应小于单支临界宽度(表 5.2.1);
- 4 当设计盘径小于 1000mm 时,挤扩支盘机扩展最大尺寸应大于设计盘径 60mm;当设计盘径大于 1000mm 时,挤扩支盘机扩展最大尺寸应大于设计盘径 100mm;
- 5 显示挤扩压力的液压表应经检定合格。

6.1.3 应经常检查现场施工设备、安全和环保措施、工具配件和劳保用品。

6.1.4 施工现场的电源、电路安装和拆除须由持证电工操作,并符合施工安全规定。

6.1.5 正式施工前,宜进行试成孔作业。

6.1.6 当桩中心距不大于  $2D$  时,宜间隔施工。

6.1.7 灌注充盈系数不得小于 1,且不大于 1.3。

## 6.2 水下成孔施工

6.2.1 在黏性土、粉土和砂土层中,宜采用正、反循环或旋挖等泥浆护壁法成孔;在圆砾、卵石、碎石层中,宜采用反循环、旋挖或冲击钻法成孔。

6.2.2 挤扩支盘桩应按下列工艺流程施工:

定位放线→桩位复核→钻机就位→钻进成孔→检测孔深→放置挤扩支盘机→挤扩支盘→盘径抽检→放置钢筋笼→放置灌注导管→二次清孔→测量沉渣厚度→水下灌注混凝土→桩养护。

6.2.3 当采用干法成孔时应符合下列要求:

1 在渗透性能较好、地下水位较高的粗粒土中钻进时,应采取避免泥浆流失,防止塌孔;

2 钻进过程中应复核各土层的层位和厚度,并检查泥浆相对密度;

3 终孔后应检查孔深、孔径、垂直度、沉渣厚度和泥浆相对密度。

6.2.4 挤扩支盘作业应符合下列要求:

1 挤扩支盘机入孔前应检查连接法兰、螺栓、油管、液压装置、弓压臂分合,检查连接杆盘位标记和挤扩支盘机运行情况;

2 入孔后可利用挤扩支盘机检查孔的垂直度,并复测孔深;

3 挤扩支盘作业宜自下而上进行。挤扩前后均应测量孔深,并按附录 C 做详细的施工记录;

4 按角度盘上的分度指示将挤扩支盘机均匀转动 8~10 次并挤扩成盘,应保证各相邻分支搭接 30~50mm;

5 当地质条件较复杂或土层标准贯入击数大于 50 从而挤不动时,应及时报告监理。可根据实际情况在桩身上下各 1m 范围适当调整盘位标高,但应保证调整后的盘位处于设计规定的土层中,并满足最小盘间距的要求;

6 在挤扩过程中应做好观测和记录(附录 C、D);

1) 必须记录每次挤扩的压力值, 盘位深度和挤扩全程的起止时间;

2) 记录每个承力盘腔形成后的泥浆液面变化情况;

3) 观测每次挤扩时油压计的读数变化, 并记录挤扩支盘机机体上升值。

7 当泥浆液面下降到护桶底部时, 应及时补浆。

6.2.5 灌注混凝土应符合下列要求:

1 二次清孔后应及时灌注混凝土。当晾孔时间超过 30min 时, 应重新测量孔底沉渣厚度;

2 灌注混凝土时导管口距孔底不应大于 500mm, 混凝土初灌量应高出底盘顶部 1m 以上, 严禁将导管底端拔出混凝土面。

### 6.3 干法施工

6.3.1 干作业成孔可采用螺旋钻, 其施工工艺与螺旋钻孔灌注桩相同。

6.3.2 成孔设备就位后应平正、稳固, 不得发生倾斜、移动情况。施工中, 桩架或桩管上应设置控制深度标尺, 并观测和记录成孔深度。

6.3.3 当发生电流值波动较大、钻进缓慢、钻具摇晃时, 应立即提钻检查处理。

6.3.4 在孔口周围 1m 范围内不得堆放积土, 并随时清理。

6.3.5 钻到设计深度后, 应进行空钻清土。清土后提钻时不得回钻钻具。当经量测孔深符合设计要求后, 方可继续施工。

6.3.6 挤扩支盘作业应自下而上进行。

6.3.7 支、盘成型后, 第二次测量孔深时, 如孔底虚土厚度大于 100mm, 应采取有效措施处理。

6.3.8 灌注混凝土必须通过溜槽。当灌注深度超过 3m 时, 宜用串筒, 且串筒末端离孔底高度不宜大于 2m。混凝土宜采用插入式振捣器振实。当桩径较小时, 可采取其他有效措施, 确保混凝土的灌注质量。



## 7 质量检测及验收

### 7.1 一般规定

7.1.1 可取一个工程项目的挤扩支盘桩为一个检验批。当一个工程项目含有多个子项目或地基土较复杂,所设计的挤扩支盘桩规格不同时,应视具体情况,划分为几个检验批。

7.1.2 挤扩支盘桩工程的质量检测及验收,除应执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

### 7.2 成桩质量检测

7.2.1 挤扩支盘桩的成桩质量检测主要包括成孔、挤扩支盘、清孔、钢筋笼制作和安放、混凝土拌制和灌注等,应重点检测挤扩支盘的质量。

7.2.2 钢筋笼制作应符合设计要求,应对钢筋规格、焊条规格、品种、焊口规格、焊缝长度、焊缝外观和质量、主筋和箍筋的制作偏差等进行检查。钢筋笼质量检验标准应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定执行。

7.2.3 在灌注混凝土前,应对桩孔的位置、孔深、孔径、(支)盘数、盘径、(支)盘位、首次挤扩压力、垂直度、孔底沉渣厚度、钢筋笼安放的实际位置等进行检测,并填写质量检测记录。盘径、盘位检测可采用改进型并径仪或盘径测量仪等有效检测方法,盘径测量仪的使用可按附录 B 的规定进行,检测数量宜为总桩数的 10%~20%,一柱一桩时应 100%进行检测。

7.2.4 挤扩支盘桩质量验收中的主控项目和一般项目中的垂直度、桩径、钢筋笼安放深度、混凝土充盈系数、桩顶标高等,其检验标准应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》

GB 50202 的相关规定执行。其他主控项目和一般项目的检测标准应按照表 7.2.4 的规定执行。

表 7.2.4 挤扩支盘桩质量检验标准

项目分类	序	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	1	支、盘数量	符合设计要求	检查施工记录(附录 C)
一般项目	1	盘径	$-0.1d$ , 且 $\leq 50\text{mm}$	改进型井径仪或盘径测量仪(附录 B)
	2	盘位	按本规程第 6.2.4 条第 5 款	改进型井径仪或盘径测量仪(附录 B)
	3	首次挤扩压力	按本规程附录 D	检查施工记录(附录 C)
	4	灌注前泥浆相对密度	1.15~1.25	用比重计
	5	灌注前沉渣厚度	$\leq 100\text{mm}$ (抗压桩) $\leq 300\text{mm}$ (抗拔桩)	用沉渣仪或重锤测量
	6	混凝土坍落度	水下施工 180~220mm 干法施工 80~100mm	坍落度仪

### 7.3 基桩检测

7.3.1 为确保单桩竖向极限承载力标准值达到设计要求,应根据工程重要性、地质条件、设计要求和工程施工情况进行单桩静荷载试验或可靠的动力试验。

7.3.2 对于设计等级为甲、乙级的建筑桩基和地质条件复杂或成桩质量可靠性较低的桩基工程,应采用有效方法检测成桩的完整性,检测数量应根据现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

7.3.3 对下列情况之一的桩基工程,应采用静载试验对单桩竖向抗压承载力进行检测:

- 1 施工前未进行单桩静载试验的设计等级为甲、乙级的建筑

桩基。

2 施工前未进行单桩静载试验,且有下列情况之一的设计等级为丙级的建筑桩基:

1)地质条件复杂。

2)桩的施工质量可靠性低。

3)单桩竖向抗压承载力的可靠性低,且桩数多。

7.3.4 对下列情况之一的桩基工程,可采用高应变动测法检测单桩竖向抗压承载力:

1 施工前已进行单桩静载试验,设计等级为甲级的建筑桩基。

2 属于第7.3.3条第2款规定范围外的设计等级为丙级的建筑桩基。

3 作为设计等级为甲、乙级的建筑桩基静载试验的辅助检测。

#### 7.4 工程验收

7.4.1 当桩顶设计标高与施工场地标高相近时,桩基工程应在成桩完毕后进行验收;当桩顶设计标高低于施工场地标高时,应在开挖至设计标高后进行验收。

7.4.2 桩基验收时应提交下列资料:

1 岩土工程勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、设计变更单和材料代用通知单等;

2 经审定的施工组织设计、施工方案和执行中的变更情况;

3 桩位测量放线图,包括工程桩位线复核签证单;

4 成桩质量检测报告;

5 单桩竖向抗压承载力检测报告;

6 基坑挖至设计标高的桩基竣工平面图和桩顶标高图。

7.4.3 工程质量验收的程序和组织应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的相关规定执行。施工质量验

收时除应执行本规程的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

**7.4.4** 当工程验收的主控项目 100%符合要求、一般项目不低于 80%符合要求时,应判定该工程合格。当主控项目或一般项目不满足上述要求时,应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的相关规定处理。

## 附录 A LZ 挤扩支盘机示意

A.0.1 LZ 挤扩支盘机的构造如图 A.0.1 所示。

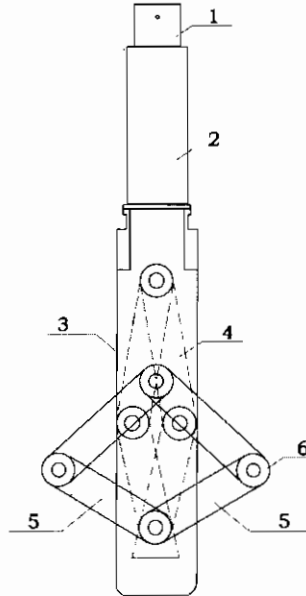


图 A.0.1 LZ 挤扩支盘机构造示意

1—接长杆接头 2—油缸 3—防缩径套 4—回收状态  
5—弓压臂(单支) 6—扩展状态

## 附录 B 盘径测量仪示意

B.0.1 盘径测量仪的构造如图 B.0.1 所示。

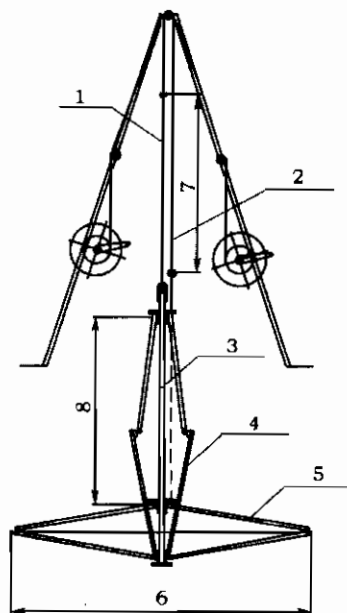


图 B.0.1 盘径测量仪构造示意

1—主测绳 2—副测绳 3—滑动杆 4—回收状态 5—张开状态  
6—盘径 7—孔口实测落差值 8—实际落差值

B.0.2 盘径测量仪的检测方法应符合下列规定：

- 1 测量仪入孔前，主测绳与副测绳应在同一水平位置上，标出盘位深度；
- 2 将盘径测量仪下入桩盘所在位置后，放松副测绳，使测架

张开；

- 3 在孔口处测量主测绳与副测绳标记的落差值；
- 4 根据落差表查出落差值所对应的盘径尺寸。

# 附录 C 挤扩支盘施工记录表

## 表 C 挤扩支盘施工记录

工程名称: \_\_\_\_\_ 桩号: \_\_\_\_\_  
 施工单位: \_\_\_\_\_

设计桩长(m)	设计桩径(m)		设计孔深(m)		设计盘径(m)		设计盘高		设计盘深		设计盘宽		设计盘厚				
	单弓压臂宽度(m) (单支宽度)	挤扩前孔深(m)	弓臂最大张开尺寸(m)	挤扩后孔深(m)	支、盘标高(m)	支、盘深度(m)	支、盘高度(m)	压 力 值(MPa)									
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
作业起止时间:	年 月 日		时 分		日 时 分												
支、盘名称																	
备注																	
记录员					质检员				技术负责人				监理人员				



## 附录 D 常见土层中承力盘首次挤扩 压力参考值

表 D 常见土层中首次挤扩压力参考值

土层名称	土的状态	首次挤扩压力值(MPa)
黏性土	—	$\geq 5$
粉土	中密	$\geq 8$
	密实	$\geq 12$
砂土	中密	$\geq 10$
	密实	$\geq 15$
圆砾、卵石	密实	$\geq 20$

注：本表适用于 LZ 系列挤扩支盘机。

## 本规程用词说明

1 为便于执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1) 表示很严格,非这样做不可的:  
正面词采用“必须”;  
反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:  
正面词采用“应”;  
反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:  
正面词采用“宜”;  
反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的:  
正面词采用“可”;  
反面词采用“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准执行时,写法为“可参照……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

# 挤扩支盘灌注桩技术规程

CECS 192 : 2005

条文说明

## 目 次

1 总 则 .....	( 35 )
3 基本规定 .....	( 37 )
5 设 计 .....	( 38 )
5.1 适用条件 .....	( 38 )
5.2 桩基设计 .....	( 38 )
5.3 桩基计算 .....	( 42 )
6 施 工 .....	( 44 )
6.1 一般规定 .....	( 44 )
6.2 水下成孔施工 .....	( 45 )
6.3 干法施工 .....	( 46 )
7 质量检测及验收 .....	( 47 )
7.2 成桩质量检测 .....	( 47 )
附录 A LZ 挤扩支盘机示意 .....	( 48 )
附录 D 常见土层中承力盘首次挤扩压力参考值 .....	( 49 )

# 1 总 则

**1.0.1** 挤扩支盘灌注桩是 20 世纪 90 年代初,根据张俊生先生发明专利发展起来的一种桩基新技术,曾名多分支承力盘承载桩。

该技术先后被国家科委、国家质量技术监督局等部门列入“重大科技成果推广计划”、“重点国家级火炬计划”和“国家重点新产品”,已编制并颁布执行电力行业标准《火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定》DLGJ 153—2000、《火力发电厂地基处理技术规定》DL/T 5024—2005 和浙江省地方标准《挤扩支盘混凝土灌注桩技术规程》DB 33/T 1012—2003 等。

本规程所涉及的有效发明专利(专利号:89107846.0、94104550.1 等,名称:挤扩支盘灌注桩,该桩的施工方法及成型机,专利持有者:张俊生),使用者可按国家有关规定与北京恒基中创基础工程有限公司联系,地址:北京朝阳区高碑店陶家湾 86 号;邮编:100022;联系电话:010—85766889,13601019086;电子信箱:beijingjhjt@sina.com。

**1.0.2** 挤扩支盘桩通过沿桩身不同部位设置的承力盘和分支,使灌注桩成为变截面多支点的摩擦端承桩,从而改变了桩的受力机理,显著提高了单桩承载力,减小了沉降,降低了桩基工程造价。挤扩支盘机在挤扩形成承力盘和分支的同时,也改善了地基土的性状,使承力盘周围 1m 范围内土的干密度提高了 15%~20%。

支盘桩适合于非饱和黏性土、砂性较大的黏性土、粉土、砂土、卵砾石、风化岩层等。由于该技术可显著提高桩基承载力,与普通钻孔灌注桩相比能节约建筑材料,并减少工程量约 50%,节约工程造价 25%左右,且缩短了工期,具有良好的经济效益和社会效益。

挤扩支盘桩在地下水位上、下均可施工,可充分利用桩身有效深度范围内各较好土层的承载力,使桩身每立方米混凝土所提供的承载力显著提高。同时,桩的抗拔性能也有显著提高。

支盘桩承力盘底无沉渣,且盘底土经挤压密实,受荷后只有很小的压缩变形就可提供较大的阻力,因而能有效地减少建(构)筑物的沉降变形。对部分支盘桩工程的调查表明,建筑物的沉降仅是普通刚性桩建筑物沉降的 1/2 左右。因此,采用支盘桩能有效地减少建筑物因差异沉降产生的裂损。

**1.0.4** 本规程是对现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等的补充。

### 3 基本规定

**3.0.1** 挤扩支盘桩基础的设计等级与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定基本一致。

**3.0.3** 本条第 4 款中特别提出要收集工程所在地区挤扩支盘桩工程的设计和施工经验、试桩资料、沉降观测资料等,以作为工程设计和施工时借鉴,使设计更为经济合理,施工更为安全、可靠,也为本技术的进一步发展积累经验。

**3.0.4** 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定,地基基础设计等级为丙级的建筑物,可采用静力触探和标贯试验参数确定单桩竖向承载力特征值。由于本技术的特殊性,本条规定对丙级工程“当缺乏可参照的试桩资料或地质条件复杂时,应通过静载荷试验确定。”

特别是,由于抗拔桩的设计、施工经验较少,因此在确定承载力特征值时应比抗压桩更严格、慎重,尽可能采用静载荷试验确定。

## 5 设计

### 5.1 适用条件

**5.1.1** 通过对各地大量挤扩支盘桩工程的实例分析,得出了以下重要结论:在地下水位以下成孔时(即水下施工支盘桩),由于存在一定泥浆相对密度的水头压力,承力盘在中密至密实的粉土、砂土、卵石等土层中易于成型,且这些土层的物理力学性能好、可压缩性低,在此处成型的挤扩支盘单桩承载力明显提高。而在流塑、软塑、可塑等黏性土以及松散的粉土、砂土层中承力盘不易成型,且由于土层承载力低对提高单桩承载力不明显,故不宜设置。地下水位以上成孔(即干法施工的支盘桩),由于挤盘时易塌孔,因此在松散粉土、砂性土中不宜设置承力盘。

水下作业适宜设盘的中密至密实砂性土,其标准贯入击数一般为 15~50 击。标准贯入击数小于 15 击时为松散或稍密的砂层,不宜设盘;标准贯入击数大于 50~70 击时,现有的挤扩支盘机挤不动。当砂土或卵石层的标准贯入击数超过 50~70 击时,应将承力盘设置在该土层上部,即保证承力盘高度的  $0.5h$  进入该土层。

适宜设盘土层的压缩模量  $E_s$  不应小于 6MPa。

**5.1.2** 水下施工时,在塑性指数较高的黏性土中承力盘不易成型;干法施工时,由于没有泥浆护壁作用,在砂土中挤扩易塌孔,因此要求经现场试验确定成盘的可行性。

### 5.2 桩基设计

**5.2.1** 本条规定桩基的选型和布置。

1 挤扩支盘桩的桩径、桩长、盘径及支盘的数量,除根据工程地质条件和单桩承载力的要求确定外,还要考虑现有挤扩支盘机



的构造尺寸。现有挤扩支盘机的主要型号有 LZ 和 YZJ 系列两种。表 5.2.1 中的桩干直径  $d$  和承力盘设计直径  $D$  是根据现有挤扩支盘机的构造尺寸决定的。挤扩支盘机最大张开直径应大于承力盘设计直径 100mm。表 5.2.1 中的单支宽度(即弓压臂宽度)  $b$  是根据盘的直径和在挤扩成盘过程中对支和盘上、下部位土体进行有效挤密而确定的单支最小临界宽度。若弓压臂宽度小于此临界宽度,则会影响挤扩支盘桩的挤密效果,从而降低挤扩支盘桩的单桩承载力。表 5.2.1 中的支盘高度  $h$  应满足在承受最大竖向荷载时挤扩盘处混凝土的抗剪强度要求。

水下施工时孔壁易发生缩径现象,为使支盘机能够顺利进入孔底,表 5.2.1 特别规定了水下施工作业适用的桩径下限,此值可根据实际情况适当提高。一般情况下,桩长在 20m 以内时,建议桩径至少增加 20mm,即为表注 3 中的 620mm 和 820mm;桩长在 30m 左右时,至少将桩径下限增加 50mm 左右,依次类推。

为了进一步提高挤扩支盘桩的技术经济指标,专利持有单位正在试制新一代的挤扩支盘机,以满足桩径不变、承力盘直径加大的需求。拟设计的构造尺寸如表 1 所列。

表 1 挤扩支盘桩拟设计的构造尺寸(mm)

桩干直径 $d$	单支宽度 $b$	承力盘设计直径 $D$	支、盘高度 $h$
600~800	300	1600	700

2 挤扩支盘桩单桩承载力较高,布桩时可采用墙下和柱下布桩,以降低底板和承台的设计厚度和工程造价,当荷载较大或地质条件较差时可采用群桩基础。

3 本款的规定参照了大直径扩底桩的有关规定。

4 桩承受竖向荷载时,为避免相邻盘产生应力作用区重叠,要求相邻盘竖向间距不应小于 2 倍设计盘径。在各地对挤扩支盘灌注桩的相关规定中,上下相邻盘间距  $h_p$  的取值举例如下:

河南地区:对黏性土、粉土  $3d$ ,对砂土层  $4d$ ;

浙江地区:对黏性土、粉土  $2.5D$ ,对砂土  $2.0D$ ;

天津地区:相邻盘不宜小于 $3D$ ;

大量工程实践证明,相邻盘间距 $h_p$ 取值不小于 $2D$ 为宜。

根据工程实践和原位试验结果,当抗压桩承力盘较多时,下部承力盘的承载力难以发挥,因此盘的数量不宜过多。

5 挤扩支盘桩应根据单桩承载力和地质条件决定盘的数量和盘的位置。盘的位置应设在土层结构稳定、压缩性较小、承载力较高,并有一定厚度的土层中。如果设置承力盘的承载土层厚度不能满足 $2D$ 要求或在承力盘底下 $2D$ 范围内有软弱下卧层,则该承力盘处土层端阻力极限值的修正系数 $\eta$ 可根据承载土层厚度和软弱下卧土层的情况适当折减。

曾在禹州电厂、黄骅电厂、秦皇岛电厂等多个有代表性的场地进行了挤扩支盘桩现场原位试验。现以禹州电厂为例介绍地下水位以上成孔挤扩支盘桩的原位试验成果:

共6根试桩,分为两组。第一组3根采用二盘二支,第二组3根采用一盘五支。桩端持力层为黏土混姜石层。两组试桩主桩径均为 $d=600\text{mm}$ ,盘直径: $D=1400\text{mm}$ ,桩长 $L=15\text{m}$ 。桩顶以下土层依次为:

层①压实填土:密实,坚硬,层厚 $3.2\text{m}$ ;

层②粉质黏土:硬塑—坚硬状态,含小姜石,层厚 $5.6\text{m}$ ;

层③黏土:坚硬状态,含少量姜石,层厚 $4\text{m}$ ;

层④黏土混姜石:坚硬状态,混姜石。

静载荷试验结果表明:在同一荷载作用下,第一组桩的沉降量小于第二组桩,即第一组桩控制变形的能力明显优于第二组桩。这说明上部设盘的承载作用非常明显。

从各试桩桩身应力和轴向力的变化分析(参见第一组1号试桩的桩身摩阻力和桩端反力测试结果表2和桩的加荷量与各深度段等效侧阻力关系图,见图1),上、下部应力和轴向力盘较支衰减较快,即盘分担上部荷载的作用较大。从1号试桩沿桩身的单位摩阻力分布也可看出此变化。两盘两支与一盘五支的试验结果比

较,前者提供的承载力更高,桩体沉降更小,这说明盘对发挥上部地层的承载力,减少桩的沉降非常重要。

表 2 禹州电厂 1 号试桩桩身摩阻力和桩端反力测试结果

加荷量(kN)	160	2400	3200	4000	4800	5600	6400	7200	极限荷载下 桩身和支盘的 阻力(kN)		备注
总摩阻力(kN)	154	2288	3003	3718	4404	5064	5703	6325			
端阻力(kN)	56	112	197	282	396	536	697	875	桩身	支、盘	
各深度段的桩的等效摩阻力(kPa)	0~5.5m	59	69	79	80	96	96	98	103	1068	
	5.5~7	77	112	147	221	232	238	256	261		738 支
	7~8	17	49	59	64	93	96	98	101	190	
	8~9.5	123	216	353	438	458	565	630	640		1809 盘
	9.5~10.5	40	43	57	79	82	93	95	95	179	
	10.5~12	49	51	77	78	81	139	140	187		529 支
	12~13	33	31	32	44	53	64	67	71	134	
	13~14.5	11	52	84	144	256	302	429	562		1589 盘
14.5~15	35	39	47	50	76	81	87	92	89		

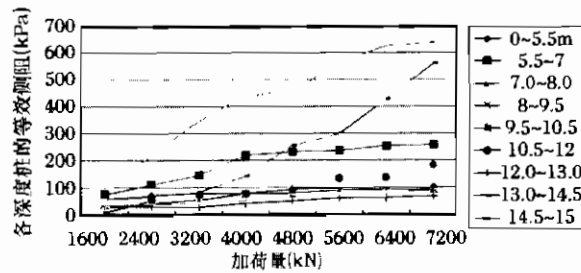


图 1 1 号试桩加荷量与等效侧阻力关系

从单位摩阻力测试结果可以看出,起初荷载较小时,上部承载

较小,主要由桩身上段的摩阻力支撑(包括上部盘和支的等效摩阻力)。当桩的上部承载增加到一定数值时,桩身发生弹性变形以及桩土产生相对位移,桩顶沉降,侧摩阻力的发挥逐渐向下转移,桩身下段支盘的等效摩阻力显著增大,桩端阻力的作用也开始明显的表现出来。例如1号桩,荷载为4000kN时,上部盘所在区段的单位摩阻力已达438kPa,而下部盘此时的单位摩阻力仅为144kPa,桩端阻力为282kN;荷载为7200kN时,上部盘所在区段的单位摩阻力为640kPa,下部盘此时达562kPa,桩端阻力为875kN,二者的摩阻力值已比较接近。当处于极限状态时,上部盘所承担的极限摩阻力已与前级荷载下相差无几,此时该盘处的土体已接近塑性破坏阶段。

在极限荷载作用下,以1号试桩为例,支盘共同承担的荷载为4665kN,占总荷载的64.8%,盘承担的荷载占总荷载的47.2%;在同一土层内,盘所在区段的等效摩阻力是支的2.5倍左右,是直杆桩的6.5倍左右。这表明支盘桩中支、盘的承力作用非常明显。

6 承压桩的支和盘应设置在承载土层的上部,盘底进入持力土层的深度不宜小于 $0.5\sim 1.0h$ 。当持力土层为标准贯入击数超过50~70击的砂卵石层时,盘底进入的深度不宜小于 $0.5h$ ;其他情况不宜小于 $1.0h$ 。抗拔桩的支和盘应设置在持力土层的下部,要求同上。

### 5.2.2 本条规定了桩基的构造

1 本款系参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的相关规定。配筋率按桩干直径计算,桩干直径一般为400~1100mm,小桩径配筋率取高值,大桩径配筋率取低值。挤扩支盘桩是以端阻力为主承载的桩型,桩身应力较大,其承载力常常由桩身承载力控制,一般桩身宜采用较高强度等级的混凝土。

## 5.3 桩基计算

5.3.2 挤扩支盘桩单桩承载力的确定应充分考虑该桩型的特点及现场勘察资料,其计算公式经历了两个阶段:2000年之前承载

力计算公式是利用各层土的标准贯入击数估算桩身侧阻和各承力盘的端阻值；2000年后，为与现行国家、行业标准协调一致，改用了阻力法，即利用各层土的侧阻值和端阻值计算挤扩支盘桩的单桩承载力。实践证明，后一方法计算简便，准确性较高。因此，各层土的标准贯入击数可不再作为勘察报告中必须提供的内容，而只是作为非黏性土层物理力学指标的参考值之一。目前利用各土层的标准贯入击数估算单桩承载力的方法也仅作为一种参考方法。

在单桩抗压承载力公式中，第一项  $u \sum q_{si} L_i$  为桩直杆部分的侧摩阻力，第二项  $\sum \eta_{pj} A_{pj}$  为除底承力盘外其他承力盘环的端承阻力之和，第三项  $\eta_p A_p$  为底承力盘的端承阻力。

其中， $q_p$ 、 $q_{pj}$  为承力盘所在土层的端阻力极限值，按表 5.3.2-4 取值。从各地勘察报告所提供的钻孔灌注桩侧阻值  $q_{si}$  和端阻值  $q_{pj}$  可知，对物理力学指标相近的土层，不同勘察报告给出的侧阻值  $q_{si}$  比较接近，而端阻值  $q_{pj}$  则差别很大。由于报告给出的端承阻力差别很大，由此计算出的支盘桩单桩承载力与实际压桩结果的误差就较大。根据大量工程资料对比分析，如承力盘处土层的端阻力取表 5.3.2-4 中所列的数值，则计算值与检测结果吻合较好。

表 5.3.2-2 中盘底土层极限端阻力标准值的修正系数  $\eta$  随盘径的增大而减小，且与盘所处位置有关。

采用干法作业施工的挤扩支盘桩工程，除河南以外应用较少，经验相对不足，表 5.3.2-3 中干法作业盘底土层极限端阻力标准值的修正系数  $\eta$ ，是参考国家电力公司电力规划设计总院的《火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定》DLGJ 153—2000 的相关条款给出的。

当利用式(5.3.2)计算挤扩支盘桩承载力时，要求施工采用的挤扩支盘机符合本规程第 6.1.2 条第 1~5 款的要求。当部分挤扩支盘机不能满足此要求时，建议根据设备和工程具体情况对单桩承载力作适当调整。

## 6 施 工

### 6.1 一 般 规 定

6.1.2 本条规定了桩施工前应具备的资料。

1 确保挤扩支盘桩成桩质量的关键是需要采用合格的挤扩支盘机。不合格的挤扩支盘机主要是：油缸面积小，导致挤扩压力不足；弓臂宽度小，对土是刺入而不是挤密压实。

2 当未安装防缩径套管而挤扩支盘时，在粉土和黏性土周围挤扩支盘容易造成附近土体向孔内凸起，从而形成缩径，影响桩身质量。安装防缩径套管可有效地阻止缩径产生；防缩径套管可对孔壁形成防护作用，避免弓压臂划刮孔壁以减少沉渣和虚土；防缩径套管可对活塞杆起保护作用。未安装防缩径套管的设备在弓压臂收回后，连接下臂的活塞杆（较细）全部处于外露状态，容易受到腐蚀；在设备起吊过程中，活塞杆又容易变形。此问题在水下作业挤扩支盘桩时应引起足够重视。

4 挤扩支盘机扩开的最大尺寸应比承力盘设计直径大 60~100mm，其原因是承力盘腔挤扩成型后，土体会有一部分回弹。在一般情况下，实际的承力盘直径会小于挤扩支盘机的最大扩开尺寸。为了满足设计承力盘直径和盘径检测标准，特作此规定。

5 为准确反映支盘挤扩成型压力值，液压表应通过相关部门的检测，并出具合格证，以保证工程施工中所记录压力值的准确性。

挤扩支盘桩的施工除配备挤扩支盘机外，还应配置相关的成孔机械、运输起吊设备、钢筋加工和混凝土灌注等配套机具。

6.1.5 试成孔的目的除检验成孔工艺、泥浆配置外，还为检验承力盘处土层的物理力学性质、承力盘下部的持力层厚度、设计承力

盘的首次挤扩压力是否符合附录 D 的要求。如果首次挤扩压力值小于表中数值,则需要适当调整盘位标高,直至首扩压力满足要求,并同时满足相邻盘间距的要求。

6.1.6 在相邻桩中心距不大于  $2D$  时进行跳打施工,能有效避免施工中桩与桩之间相互影响。如现场条件不允许做跳打时,也必须做到在挤扩支盘作业时,在桩位  $2D$  范围内不得有未灌注混凝土的桩孔,以避免挤扩支盘时造成邻近桩孔缩径或塌孔。

6.1.7 充盈系数是指单桩混凝土的实际灌注量与理论灌注量的比值。挤扩支盘桩的单桩理论灌注量为桩径  $d$  的直杆桩体积与各支、各盘环体积之和。盘环体积理论公式为:  $\frac{\pi}{3}h(R^2 + r^2 + Rr) - \pi r^2 h$ , 其中  $h$  为盘高,  $R$  为盘半径,  $r$  为桩半径。

## 6.2 水下成孔施工

6.2.4 本条提出了对挤扩支盘作业的要求。

4 分度盘是挤扩支盘机的专用配套工具,安放在孔口处,用于测量挤扩支盘机每次的转动角度。

5 合格的挤扩支盘机在额定工作压力  $25\text{MPa}$  下,能挤动标准贯入  $50\sim 60$  击的密实砂性土,正常情况下盘位标高不能随意调整。如因标准贯入击数过高而挤不动,或支盘所在的土层起伏变化较大而造成首次挤扩压力值不能满足附录 D 的要求,经现场监理工程师同意,可在设计盘位标高上、下  $1\text{m}$  范围内适当调整盘位标高,同时还应满足相邻盘间距不小于  $2D$  的要求。如果一个盘位调整后还必须调整上盘或下盘的标高以保证盘间距,则应通过设计认可。当标准贯入击数过高挤不动时,盘位标高调整的原则是:抗压桩盘位向上调整,抗拔桩盘位向下调整。

经现场监理工程师同意,可在上、下  $1\text{m}$  范围内调整盘位。如在此范围内调整仍不能满足要求,则需通过设计认可方可加大调整范围。

### 6.3 干法施工

6.3.7 当孔底虚土厚度大于 100mm 时,可用虚土桶处理以减少虚土,也可用 1000kg 的柱状锤夯击孔底,以及采取往孔内灌注泥浆等处理措施。



## 7 质量检测及验收

### 7.2 成桩质量检测

7.2.1 成桩质量检测要检查成孔、清孔、钢筋笼制作和安放、混凝土搅拌和灌注等常规施工工艺外,还应重点检查挤扩支盘的质量。支盘的质量主要指支盘的标高和所在的土层,挤扩次数和旋转角度,盘的首次挤扩压力、直径,盘间距的控制等几个方面。

7.2.3 过去使用改进型井径仪检测挤扩支盘桩的盘径,操作简便,结果准确可靠,但用井径仪进行盘径检测时需对传统检测设备进行改装。北京恒基中创基础工程有限公司研发了对盘径和盘位进行检测的专用盘径测量仪,且2002年10月在国家重点工程北京中关村西区景观平台支盘桩桩基工程中,已被该工程的监理单位确定为盘径检测的专用设备。使用该设备检测时,应由熟练的施工人员操作。当盘位距离孔口深度超过50m时,主绳与副绳容易缠绕在一起而无法测量,此时应分二次到三次进行测量,每次检测1~2个承力盘。

7.2.4 国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202—2002表5.6.1-1指出,混凝土灌注桩的主控项目为桩位、孔深、桩体质量检验和混凝土强度、承载力。挤扩支盘桩的主控项目除包括以上项目外还应包括支、盘数量和质量。

## 附录 A LZ 挤扩支盘机示意

挤扩支盘机(简称支盘机)是通过液压力使弓压臂在孔壁的不同部位土体中扩展和回收,以形成分支腔和承力盘腔的机械设备。

## 附录 D 常见土层中承力盘首次挤扩 压力参考值

表 D 是通过 LZ 挤扩支盘机在大量工程实践中总结出的关于土的状态与首次挤扩压力值关系的参考值。参考值的大小除与土层物理力学指标有直接的关系外,还与挤扩支盘机的动力和弓压臂的宽度有关。需要说明的是:表 D 所列的挤扩压力值仅为对应土层首次挤扩压力的最低值,如果动力较小,则在相同的土层中首次挤扩压力值的下限应适当提高。