

陕西省工程建设标准

沉管夯扩桩技术规程

Technical specification for pipe sinking compacted
base-enlarged pile

DBJ 61/T 102 – 2015

主编部门：陕西省住房和城乡建设厅

批准部门：陕西省住房和城乡建设厅

陕西省质量技术监督局

实施日期：2015 年 08 月 24 日

前 言

本规程是根据陕西省建设厅《关于对〈沉管夯扩桩技术规程〉编制立项的批复》（陕建函〔2007〕402号）文件的要求，由中国有色金属工业西安勘察设计院会同其他勘察、设计、施工及质检单位共同编制完成。

在编制过程中，编制组开展多项专题研究，进行了广泛的调查研究，收集了我省夯扩桩工程经验，经反复讨论、修改，最终经审查定稿。

本规程共7章3个附录，内容包括1. 总则、2. 术语和符号、3. 夯扩桩勘察、4. 夯扩桩基础设计、5. 夯扩桩复合地基设计、6. 夯扩桩施工、7. 夯扩桩质量检测及验收等。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅负责归口管理，陕西省建筑标准设计办公室负责出版发行，由中国有色金属工业西安勘察设计院负责规程的具体解释。本规程在执行过程中，请各单位注意总结工程经验，并将意见和建议反馈给中国有色金属工业西安勘察设计院《沉管夯扩桩技术规程》管理组（地址：西安市西影路46号，邮编：710054 邮箱：xkjsc@ysxk.cn）。

本规程主编单位：中国有色金属工业西安勘察设计院

本规程参编单位：中国建筑西北设计研究院有限公司

中国有色金属工业西安岩土工程公司

目 次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	夯扩桩勘察	5
4	夯扩桩基础设计	7
4.1	一般规定	7
4.2	桩身构造	11
4.3	基桩竖向抗压承载力	13
4.4	基桩竖向抗拔承载力	18
4.5	基桩水平承载力	19
4.6	桩身强度验算	20
4.7	桩基沉降计算	21
5	夯扩桩复合地基设计	22
5.1	一般规定	22
5.2	复合地基承载力计算	23
5.3	复合地基变形计算	24
6	夯扩桩施工	26
6.1	一般规定	26
6.2	施工准备	27
6.3	现场施工	28

6.4	施工质量检查	31
7	夯扩桩质量检测与验收	33
7.1	一般规定	33
7.2	基桩检测	33
7.3	复合地基检测	34
7.4	竣工验收	34
附录 A	夯扩桩施工工艺流程	36
附录 B	夯扩桩施工记录表	38
附录 C	夯扩桩成孔、灌注及钢筋笼隐蔽验收记录	39
	本规程用词说明	40
	引用标准名录	41
	条文说明	43

1 总 则

1.0.1 为了在沉管夯扩桩设计和施工中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境、节约资源，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于陕西省工业与民用建筑的沉管夯扩桩勘察、设计、施工、质量检测与验收。

1.0.3 采用沉管夯扩桩的工程，应根据岩土工程勘察资料，综合考虑上部结构类型、荷载特征、施工技术条件与环境因素等，做到因地制宜，合理设计，精心施工，严格检测。

1.0.4 在进行沉管夯扩桩基勘察、设计、施工、检测与验收时，除应符合本规程外，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 沉管夯扩桩 pipe sinking compacted base – enlarged pile

采用桩锤夯击夯管成孔，向管底灌注一定量干硬性混凝土并夯击形成扩大头，再继续向管内灌注混凝土形成底部为扩大头状的混凝土灌注桩，简称夯扩桩。

2.1.2 夯扩参数 compacted base – enlarged parameter

夯扩桩成桩直径、桩长、扩大头直径、夯扩次数等。

2.1.3 褥垫层 mattress level

在夯扩桩复合地基中，为调整桩与桩间土的应力作用，在桩顶与基础之间设置的垫层。

2.1.4 贯入度 Penetration

在锤重和落距一定的条件下，每次锤击桩管进入地基土中的深度。

2.1.5 充盈系数 fullness coefficient

实际灌注混凝土的桩身体积与设计计算的桩身体积之比。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

G_p —— 基桩自重标准值；

H_k ——单桩基础和群桩基础中的基桩桩顶处相应于荷载效应标准组合的水平力；

H_{Ek} ——单桩基础和群桩基础中的基桩桩顶处相应于地震作用效应和其他荷载效应标准组合的水平力；

N ——荷载效应基本组合下的桩顶轴心竖向力；

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，桩顶平均竖向力；

N_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，桩顶平均竖向力；

2.2.2 抗力和材料性能

E_s ——压缩模量；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_y ——钢筋抗拉强度设计值；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值；

f_{ak} ——天然地基承载力特征值；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值；

q_{sik} ——第 i 层土的极限侧阻力标准值；

q_{pk} ——桩端极限端阻力标准值；

Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值；

Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力标准值；

Q_{pk} ——单桩总极限端阻力标准值；

R_a ——基桩竖向抗压承载力特征值；

R_h ——单桩基础和群桩基础中的基桩桩顶处的水平承载力特征值。

T_{uK} ——单桩竖向抗拔极限承载力标准值；

2.2.3 几何参数

A_p —— 桩端扩大头截面积；

A —— 桩身截面面积；

A_s —— 受拉钢筋截面积；

c —— 外管下沉底端至设计桩底标高之间的距离；

D —— 扩大头直径；

d —— 夯扩桩桩身直径

d_0 —— 外管内径；

H —— 灌注混凝土高度；

h —— 外管上拔高度

l —— 混凝土桩身长度；

L —— 桩管长度；

u —— 桩身周长；

Z —— 桩身进入持力层的深度；

2.2.4 计算参数

α —— 扩大头直径计算修正系数；

m —— 面积置换率；

λ_i —— 抗拔系数；

β —— 端阻力调整系数；

ψ_c —— 成桩工艺系数；

λ_s —— 桩间土发挥系数；

λ_p —— 单桩承载力发挥系数；

ξ —— 复合土层的压缩模量修正系数。

3 夯扩桩勘察

3.0.1 夯扩桩岩土工程勘察除应符合《岩土工程勘察规范》GB 50021、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的有关规定外，尚应满足下列规定：

1 对桩端持力层，应采用标准贯入试验、重型动力触探试验或静力触探试验等原位测试手段。原位测试孔的数量不宜少于3孔，标准贯入试验不应少于6次；

2 当桩端持力层以下存在软弱下卧层时，勘探孔深度应满足下卧层验算的要求；

3 当桩端持力层顶面埋深变化较大时，应加密勘探孔，并提供持力层顶面高程等值线图。

3.0.2 岩土工程勘察应包括下列内容：

1 查明场地各层岩土的类型、埋深、分布、工程特性和变化规律；

2 查明地下水条件，评价地下水对成桩的影响；

3 查明不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度；

4 查明可液化土层和特殊性岩土层分布，分析其对工程建设的影响；

5 查明场地周边环境条件，评价施工对附近建（构）筑物、管线的影响；

6 提供各层地基土的物理力学性质指标及承载力特征值；

评价地基的均匀性，对需要进行沉降计算的建（构）筑物，提供地基变形计算参数；

7 判定水和土对建筑材料的腐蚀性；

8 确定桩端持力层，并提供桩长、桩径的建议；

9 分析扩大头成型及成桩的可能性，预测成桩挤土效应的影响，并提出防护措施建议；

10 提供桩侧阻力和端阻力，估算单桩竖向承载力和复合地基承载力，必要时提供单桩水平及抗拔承载力；

11 预估桩基及复合地基变形。

4 夯扩桩基础设计

4.1 一般规定

4.1.1 夯扩桩基础设计等级应按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

4.1.2 夯扩桩适用于桩端有良好持力层的人工填土、一般黏性土、黄土、粉土、砂土及碎石类土等。

4.1.3 夯扩桩的桩端持力层宜选择可塑~坚硬状态黏性土、非湿陷性黄土，中密~密实的粉土、砂土及碎石类土等，桩端持力层为黄土时不宜在地下水位附近设置扩大头。

4.1.4 夯扩桩的扩大头应进入可靠的持力层。欠固结土层、湿陷性土层、液化土层，淤泥质土和饱和软黄土等不应作为桩端持力层。桩端进入持力层的深度，黏性土、粉土不宜小于3倍桩身直径，砂土不宜小于1.5倍桩身直径，碎石类土不宜小于1倍桩身直径。

4.1.5 在抗震设防区，桩周存在液化土层时，桩径不宜小于500mm，桩端进入液化土层以下稳定土层的长度应按计算确定；对于碎石类土，砾、粗、中砂，密实粉土，坚硬黏性土不应小于2~3倍桩身直径，对粉、细砂及其他一般黏性土、粉土不应小于4~5倍桩身直径。

4.1.6 桩端扩大头以下持力层的厚度不宜小于桩端扩大头直径的3倍。当存在软弱下卧层时，扩大头以下持力层厚度应通过

下卧层验算确定。软弱下卧层的验算，应按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行。

4.1.7 对于自重湿陷性场地和其他可能出现负摩阻力的场地，宜进行预处理以消除负摩阻力。

4.1.8 排列基桩时，宜使桩群合力点与竖向永久荷载合力点重合，并使基桩受水平力和力矩较大方向有较大的抗弯截面模量；墙下布桩时，在墙的转角处应布置桩，在纵横墙交接处宜布置桩；柱下不宜采用一柱一桩。

4.1.9 夯扩桩的桩中心间距应以施工时不影响相邻桩的施工质量为宜。基桩的最小中心距应符合表 4.1.9 的规定。

表 4.1.9 夯扩桩的最小中心距

土类	排数不少于 3 排且桩数 不少于 9 根的桩基	其他情况
非饱和土、饱和非黏性土	$2.2D$ 且 $\geq 4.0d$	$2.0D$ 且 $\geq 3.5d$
饱和黏性土	$2.5D$ 且 $\geq 4.5d$	$2.2D$ 且 $\geq 4.0d$
注：对于饱和软黄土、淤泥质土中的夯扩桩，应适当加大桩中心距。		

4.1.10 同一基础的桩端宜位于同一持力层，桩底标高宜相同；不同时相邻桩的桩底标高差，不宜超过 $1/2$ 的相邻桩中心距。

4.1.11 夯扩桩的单桩竖向极限承载力标准值取值不宜大于 5000kN。

4.1.12 夯扩桩设计应满足承载力极限状态和正常使用极限状态的要求。

4.1.13 夯扩桩基础应进行承载力极限状态的计算，计算内容包括：

1 基桩的竖向（抗压和抗拔）承载力计算和水平承载力计

算；

2 高承台桩基或桩侧为液化土层、自重湿陷性土层、欠固结土层及不排水抗剪强度小于 15kPa 的土层时，应进行桩身压屈承载力验算；

3 当桩端持力层以下存在软弱下卧层时，应验算下卧层强度；

4 对位于坡地、岸边的桩基应验算整体稳定性；

5 对于抗浮、抗拔桩基，应进行基桩和群桩的抗拔承载力计算；

6 进行基桩抗震承载力验算时，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定。

4.1.14 下列夯扩桩基应进行变形验算：

1 对沉降有严格要求的建筑及建筑桩基设计等级为甲级、乙级的建筑桩基应验算沉降；

2 水平荷载较大或对水平变形有严格要求的甲级建筑桩基，应验算水平位移。

4.1.15 夯扩桩基础设计时，所采用的荷载作用效应与相应的承载力应符合下列规定：

1 夯扩桩基桩承载力验算时，应采用荷载效应的标准组合，相应的基桩承载力应采用特征值；

2 夯扩桩基变形验算时，应采用荷载效应的准永久组合；

3 验算坡地、岸边建筑桩基的整体稳定时，应采用荷载效应的标准组合；

4 计算桩身承载力和配筋时，应采用荷载效应的基本组合；

5 桩身裂缝控制验算时，应采用荷载效应的标准组合并考

考虑长期作用影响。

4.1.16 桩周软土因自重固结、自重湿陷性黄土浸水湿陷、地面大面积堆载、降低地下水位等原因而产生的沉降大于桩的沉降时，应视具体工程情况考虑桩侧负摩阻力对基桩承载力的影响，负摩阻力计算应按《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定执行。

4.1.17 抗震设防区，夯扩桩应按下列原则设计：

1 对于可能因地震引起上部土层滑坡地段，不宜采用夯扩桩基。若采用应考虑滑坡体对桩产生的附加水平力；

2 承台周围回填土应采用灰土、级配砂石、压实性较好的素土分层夯实回填，也可以采用素混凝土回填；当承台周围为可液化土层或饱和软黄土、淤泥等软弱土层且桩基水平承载力不满足计算要求时，宜将承台外每侧 $1/2$ 承台边长范围内的土加固；

3 桩身穿过可液化土层时，液化土层的侧摩阻力应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 进行折减；

4.1.18 夯扩桩用作抗拔桩时，应进行桩身裂缝宽度计算。桩身裂缝控制等级及最大裂缝宽度应按《建筑桩基技术规范》JGJ94 选用。夯扩桩不应用作裂缝控制等级为一级的抗拔桩，不宜用作裂缝控制等级为二级的抗拔桩。

4.1.19 桩基结构的耐久性应按《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定执行。

4.1.20 湿陷性黄土地区的夯扩桩，桩基设计时应还应符合《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025 的有关规定。

4.2 桩身构造

4.2.1 夯扩桩的桩径宜选用 350mm ~ 600mm。

4.2.2 夯扩桩的桩长应根据工程要求和岩土工程条件通过计算确定，桩长与桩径的比值 L/d 不宜大于 50，成桩深度不宜大于 25m。

4.2.3 夯扩桩桩顶嵌入承台内不应少于 50mm。

4.2.4 夯扩桩桩身混凝土强度等级不应低于 C25；

4.2.5 夯扩桩中纵向钢筋应沿桩身周边均匀布置，并沿桩长通长配置：

1 纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm，水下浇注混凝土时不应小于 50mm；

2 纵向钢筋净距不应小于 60mm；

3 纵向钢筋的配筋率，在 6 度区及非地震区不应小于 0.3%，在 7 度区不应小于 0.4%，在 8 度区不应小于 0.5%。纵筋直径不应小于 12mm，受压桩纵筋数量不应少于 6 根；对于承受水平荷载的桩和抗拔桩，纵向钢筋应满足计算要求且不少于 8 根；

4 纵向钢筋伸入承台的长度不应小于 35 倍纵筋直径且不少于 500mm；

5 纵向钢筋进入扩大头的长度不应小于 25 倍纵筋直径且不少于 350mm。

4.2.6 夯扩桩中箍筋应采用螺旋式箍筋：

1 箍筋直径不应小于 6mm；

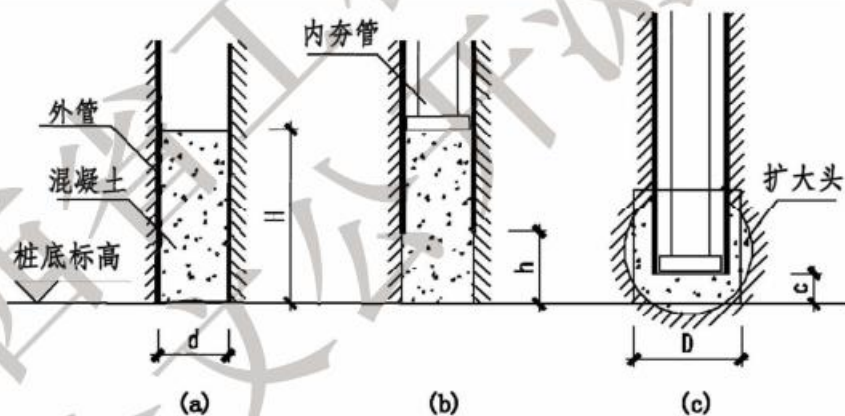
2 箍筋间距宜为 200mm ~ 250mm；

- 3 桩顶 5 倍桩径范围内箍筋间距不应大于 100mm;
- 4 桩身穿过液化土层时, 位于液化土层范围内的桩身箍筋间距不应大于 100mm;

5 当桩长超过 4m 时, 应每隔 2m 设一道直径不小于 12mm 的加劲箍筋。

4.2.7 夯扩桩扩大头直径 D 与桩身直径 d 之比宜取 2~3。夯扩桩扩大头的设计应根据桩端持力层的性质和设计要求的单桩承载力, 按以下要求进行:

- 1 夯扩次数可选用一次、二次或多次;
- 2 每次夯扩所需的混凝土量, 换算成外管内投料高度 H , 一般取 1.5~3.0m;
- 3 外管上拔高度 h 一般取夯扩投料高度 H 的 $1/4 \sim 1/2$;
- 4 桩端扩大头直径按图 4.2.7 及下列公式估算:



- (a) 外管内灌注第一批混凝土; (b) 外管拔起 h 高度并插入内夯管;
(c) 内外管夯扩在桩底形成扩大头。

图 4.2.7 夯扩头直径计算简图

一次夯扩公式

$$D_1 = \alpha_1 \cdot d_0 \sqrt{\frac{H_1 + h_1 - c_1}{h_1}} \quad (4.2.7-1)$$

二次夯扩公式

$$D_2 = \alpha_2 \cdot d_0 \sqrt{\frac{H_1 + H_2 + h_2 - c_2}{h_2}} \quad (4.2.7-2)$$

多次夯扩公式

$$D_n = \alpha_n \cdot d_0 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i + h_n - c_n}{h_n}} \quad (4.2.7-3)$$

式中： D_1 、 D_2 、 D_n —— 一次、二次、多次夯扩的扩大头计算直径 (m)；

α_1 、 α_2 、 α_n —— 扩大头直径计算修正系数，可近似取 0.9；

d_0 —— 外管内径 (m)；

H_1 、 H_2 、 H_n —— 一次、二次、多次夯扩时外管中灌注混凝土高度 (m)；

h_1 、 h_2 、 h_n —— 一次、二次、多次夯扩时外管上拔高度 (m)；

c_1 、 c_2 、 c_n —— 一次、二次、多次夯扩时外管下沉底端至设计桩底标高之间的距离，一般取 $c=0.2\text{m}$ 。

4.3 基桩竖向抗压承载力

4.3.1 夯扩桩竖向抗压承载力计算应符合下列极限状态表达

式:

1 荷载效应标准组合:

轴心竖向力作用下

$$N_k \leq R_a \quad (4.3.1-1)$$

偏心竖向力作用下, 除满足上式外, 尚应满足

$$N_{kmax} \leq 1.2R_a \quad (4.3.1-2)$$

2 地震作用效应组合:

在轴心竖向力作用下

$$N_{EK} \leq 1.25R_a \quad (4.3.1-3)$$

偏心竖向力作用下, 除满足上式外, 尚应满足

$$N_{EKmax} \leq 1.5R_a \quad (4.3.1-4)$$

式中: N_k —— 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下, 桩顶平均竖向力 (kN);

N_{kmax} —— 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下, 桩顶最大竖向力 (kN);

R_a —— 夯扩桩基桩的竖向抗压承载力特征值 (kPa);

N_{EK} —— 地震作用效应和荷载效应标准组合下, 桩顶平均竖向力 (kN);

N_{EKmax} —— 地震作用效应和荷载效应标准组合下, 桩顶最大竖向力 (kN);

4.3.2 夯扩桩单桩竖向抗压承载力特征值按下式确定:

$$R_a = \frac{1}{2}Q_{uk} \quad (4.3.2)$$

式中: Q_{uk} —— 单桩竖向抗压极限承载力标准值 (kN)。

4.3.3 夯扩桩单桩的竖向抗压极限承载力标准值按下列规定确定:

1 设计等级为甲级、乙级的夯扩桩基，应采用现场静载试验确定，每栋建（构）筑物同一类型桩的试验数量不应少于3根。现场静载试验和基桩抗压极限承载力标准值的取值可按《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的有关规定进行；

2 设计等级为丙级的夯扩桩基，可参照地质条件相同的试桩资料，结合静力触探、标准贯入等原位测试和经验参数综合确定。

4.3.4 在初步设计阶段，可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向抗压承载力：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum_{i=1}^n q_{sik} l_i + \beta q_{pk} A_p \quad (4.3.4)$$

式中：\$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\$——桩身周长（m）；

\$q_{sik}\$——第 \$i\$ 层土的极限侧阻力标准值，可按表 4.3.4-1 取值（kPa）；

\$q_{pk}\$——桩端极限端阻力标准值（kPa），可按表 4.3.4-2 取值；

\$l_i\$——桩身穿越第 \$i\$ 层土的长度（m），扩大头以上 \$2d\$ 长度范围内不计侧阻力；

\$A_p\$——桩端扩大头截面积（m²），\$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4}\$，\$D\$ 为桩端扩大头直径（m）。

\$\beta\$——端阻力调整系数，对黏性土（水下取 0.9，水上取 1.1），砂土取 1.3，碎石类土取 1.4。

表 4.3.4-1 夯扩桩极限侧阻力标准值 q_{sik} (kPa)

土的名称	土的状态		q_{sik}
填土	—		22 ~ 30
淤泥	—		14 ~ 20
淤泥质土	—		22 ~ 30
黏性土	流塑	$I_L > 1$	24 ~ 40
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	40 ~ 55
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	55 ~ 70
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	70 ~ 86
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	86 ~ 98
	坚硬	$I_L \leq 0$	98 ~ 105
粉土	稍密	$e > 0.9$	26 ~ 46
	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	46 ~ 66
	密实	$e < 0.75$	66 ~ 88
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	24 ~ 48
	中密	$15 < N \leq 30$	48 ~ 66
	密实	$N > 30$	66 ~ 88
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	54 ~ 74
	密实	$N > 30$	74 ~ 95
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	74 ~ 95
	密实	$N > 30$	95 ~ 116
砾砂	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 15$	70 ~ 110
	中密 (密实)	$N_{63.5} > 15$	116 ~ 138
圆砾、角砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	160 ~ 200
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	200 ~ 300
全风化软质岩	—	$30 < N \leq 50$	100 ~ 120
全风化硬质岩	—	$30 < N \leq 50$	140 ~ 160
强风化软质岩	—	$N_{63.5} > 10$	160 ~ 240
强风化硬质岩	—	$N_{63.5} > 10$	220 ~ 300
注 1：表中填土是指堆填年限超过 10 年的素填土。 注 2：对非自重湿陷性黄土应换算为饱和状态取其侧阻力。 注 3：对自重湿陷性黄土场地应按《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 选取桩侧平均负摩阻力。			

表 4.3.4-2 夯扩桩极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土的名称	土的状态		桩长 l (m)		
			$l \leq 9$	$9 < l \leq 16$	$16 < l \leq 25$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	210 ~ 850	650 ~ 1400	1200 ~ 1800
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	850 ~ 1700	1400 ~ 2200	1900 ~ 2800
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	1500 ~ 2300	2300 ~ 3300	2700 ~ 3600
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	2500 ~ 3800	3800 ~ 5500	5500 ~ 6000
粉土	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	950 ~ 1700	1400 ~ 2100	1900 ~ 2700
	密实	$e < 0.75$	1500 ~ 2600	2100 ~ 3000	2700 ~ 3600
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	1000 ~ 1600	1500 ~ 2300	1900 ~ 2700
	中密 \ 密实	$N > 15$	1400 ~ 2200	2100 ~ 3000	3000 ~ 4500
细砂	中密、 密实	$N > 15$	2500 ~ 4000	3600 ~ 5000	4400 ~ 6000
中砂			4000 ~ 6000	5500 ~ 7000	6500 ~ 8000
粗砂			5700 ~ 7500	7500 ~ 8500	8500 ~ 10000
砾砂	中密、密实	$N > 15$	6000 ~ 9500		9000 ~ 10500
圆砾、 角砾		$N_{63.5} > 10$	7000 ~ 10000		9500 ~ 11500
碎石、 卵石		$N_{63.5} > 10$	8000 ~ 11000		10500 ~ 13000
强风化 软质岩		$N_{63.5} > 10$	6000 ~ 9000		
强风化 硬质岩		$N_{63.5} > 10$	7000 ~ 11000		

注 1: 砂土和碎石土中桩的极限端阻力, 宜综合考虑土的密实度, 桩端进入持力层的深径比 h_b/d 。土愈密实, h_b/d 愈大, 取值愈高。

注 2: N 为标准贯入试验锤击数, $N_{63.5}$ 为动力触探修正击数;

注 3: 当有工程经验时, 表中数值可适当提高。

4.4 基桩竖向抗拔承载力

4.4.1 夯扩桩抗拔承载力计算应符合下列极限状态表达式：

$$N_k \leq \frac{1}{2} T_{uk} + G_p \quad (4.4.1)$$

式中： N_k ——单桩基础和群桩基础中的基桩在荷载效应标准组合下的基桩拔力（kN）；

T_{uk} ——单桩基础和群桩基础中的基桩竖向抗拔极限承载力标准值（kN）；

G_p ——基桩自重标准值（kN）（群桩呈整体破坏时为破坏范围内桩土总重标准值除以桩数），地下水位以下时取浮重。

4.4.2 在初步设计阶段，可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系估算单桩竖向抗拔极限承载力标准值。

1 单桩或群桩呈非整体破坏时，基桩的竖向抗拔极限承载力标准值可按下式计算：

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^n \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (4.4.2-1)$$

式中： λ_i ——抗拔系数，砂土中为0.5~0.7；黏性土、粉土中为0.7~0.8。桩长 l 与桩径 d 之比小于20时，取小值；

q_{sik} ——桩侧表面第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值（kPa）；

u_i ——在第 i 层土中的桩身周长（m）， $u_i = \pi d$ ；

l_i ——桩身在第 i 层土中的长度（m），不包括扩大头。

2 群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按

下式计算：

$$T_{uk} = \frac{1}{n} u_1 \sum_{i=1}^n \lambda_i q_{sik} l_i \quad (4.4.2-2)$$

式中： u_1 ——群桩破坏的外围周长（m）；

n ——破坏范围内的桩数。

4.4.3 设计等级为甲级、乙级的扩桩基，基桩的竖向抗拔极限承载力标准值应通过现场单桩竖向抗拔静载试验确定。单桩竖向抗拔静载试验及抗拔极限承载力标准值的取值可按《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定执行。

4.4.4 设计等级为丙级的扩桩基，可参照地质条件相同的试桩资料确定；当无可参照的资料时，基桩的竖向抗拔极限承载力标准值可按 4.4.1 和 4.4.2 计算。

4.5 基桩水平承载力

4.5.1 单桩基础和群桩基础中的复合基桩应满足：

1 荷载效应基本组合：

$$H_k \leq R_h \quad (4.5.1-1)$$

2 地震作用效应组合：

$$H_{Ek} \leq 1.25 R_h \quad (4.5.1-2)$$

式中： H_k ——单桩基础和群桩基础中的基桩桩顶处相应于荷载效应标准组合的水平力（kN）；

H_{Ek} ——单桩基础和群桩基础中的基桩桩顶处相应于地震作用效应和其他荷载效应标准组合的水平力（kN）；

R_h ——单桩基础和群桩基础中的基桩桩顶处的水平承

载力特征值 (kN)。

4.5.2 基桩的单桩水平承载力特征值应按现行《建筑桩基技术规范》JGJ94 的有关规定确定。

4.6 桩身强度验算

4.6.1 桩顶轴向压力应符合：

$$N \leq \psi_c f_c A + 0.9 f_y' A_s' \quad (4.6.1-1)$$

式中： N —— 荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值 (kN)；

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)；

f_y' —— 钢筋抗压强度设计值 (kPa)；

A —— 桩身截面面积 (m²)；

A_s' —— 纵筋面积 (m²)；

ψ_c —— 成桩工艺系数，取 0.8。

4.6.2 桩顶轴向拉力应符合：

$$N \leq f_y A_s \quad (4.6.2-1)$$

式中： N —— 荷载效应基本组合下的桩顶轴向拉力设计值 (kN)；

f_y —— 钢筋抗拉强度设计值 (kN)；

A_s —— 受拉钢筋截面面积 (m²)。

4.6.3 受水平荷载的桩，桩身抗弯承载力和抗剪承载力应满足：

1 桩身正截面抗弯承载力和斜截面抗剪承载力按《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定确定；

2 桩身承受的最大弯矩和最大剪力按《建筑桩基技术规

范》JGJ 94 的有关规定确定。

4.6.4 桩身最大裂缝宽度应满足：

$$\omega_{\max} \leq \omega_{\lim} \quad (4.6.4)$$

式中： $\omega_{\max}$ —— 按荷载效应标准组合计算的最大裂缝宽度 (mm)；

$\omega_{\lim}$ —— 最大裂缝宽度限值，按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定取用。

4.6.5 当验算地震作用下的桩身承载力时，作用于桩顶的荷载效应采用地震作用效应和其他荷载效应的基本组合，桩身承载力调整系数 γ_{RE} 应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定取用。

4.7 桩基沉降计算

4.7.1 桩基沉降变形计算值不应大于桩基沉降变形允许值。

4.7.2 桩基沉降变形计算应按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关要求进行。

4.7.3 建筑桩基沉降变形指标和允许值应按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定选用。

5 夯扩桩复合地基设计

5.1 一般规定

5.1.1 夯扩桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土、固结的素填土、非湿陷性黄土和经预处理后的湿陷性黄土等。

5.1.2 应选择承载力相对较高的土层作为桩端持力层，不宜选择淤泥质土和饱和软黄土等软弱土层。对碎石类土，可不形成扩大头，桩端进入持力层深度不应小于 2 倍桩径且不小于 1m，并应符合贯入度控制要求。

5.1.3 夯扩桩复合地基设计时应进行复合地基承载力验算和地基变形验算。

5.1.4 夯扩桩可只在基础范围内布置，桩径宜取 350mm ~ 600mm；基础边缘到桩中心的距离不宜小于 1 倍桩径。

5.1.5 桩距应根据设计要求的复合地基承载力、土性、施工工艺等参数确定，宜取 3.5 ~ 4.0 倍桩径或 1.5 ~ 2.0 倍的扩大头直径。

5.1.6 桩顶和基础之间应设置褥垫层，褥垫层厚度宜为 0.4 ~ 0.6 倍桩身直径，压实系数不应小于 0.95。

5.1.7 褥垫层材料宜选用级配砂石或碎石等，最大粒径不宜大于 30mm。

5.1.8 夯扩桩桩身混凝土强度等级不应低于 C25。

5.2 复合地基承载力计算

5.2.1 初步设计时，夯扩桩复合地基承载力特征值，可按下式估算：

$$f_{\text{spk}} = \lambda_p \frac{R_a}{A_p} + \lambda_s (1 - m) f_{\text{sk}} \quad (5.2.1)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

m ——面积置换率；

λ_s ——桩间土发挥系数，取 1.0 ~ 1.1，对黏性土取小值，对砂土、碎石类土取大值；

λ_p ——单桩承载力发挥系数，取 0.7 ~ 0.9；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值（kPa），宜按当地经验取值，如无经验时，可取天然地基承载力特征值。

5.2.2 设计等级为甲级、乙级的夯扩桩复合地基，复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值应通过现场静载试验确定，单栋建（构）筑物同一类型桩的试验数量均不应少于 3 处，对同时施工的建筑群，当地貌单元、桩端持力层、桩长、桩径等条件相同时，试桩数量可适当减少，且每栋建筑物均不宜少于 2 处。

5.2.3 设计等级为丙级的夯扩桩复合地基，可参照地质条件相同的静载试验资料确定；当无可参照的资料时，复合地基承载力特征值可按 5.2.1 计算。

5.2.4 夯扩桩桩身强度应满足式（5.2.4）的要求。

$$f_{\text{cu}} \geq 4 \frac{R_a}{A_p} \quad (5.2.4)$$

式中: f_{cu} ——桩体试块(边长 150mm 立方体)标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值 (kPa);

5.3 复合地基变形计算

5.3.1 夯扩桩复合地基变形验算应按《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行。其中,复合土层的压缩模量按 5.3.1-1 式确定。

$$E_{sp} = \xi \cdot E_s \quad (5.3.1-1)$$

$$\xi = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (5.3.1-2)$$

式中: E_{sp} ——复合土层压缩模量 (MPa);

E_s ——桩间土自重应力~自重应力+附加应力段的压缩模量 (MPa);

f_{spk} ——由载荷试验确定的复合地基承载力特征值 (kPa);

f_{ak} ——由载荷试验或其它原位测试方法确定的桩间土承载力特征值 (kPa);

ξ ——复合土层的压缩模量修正系数。

沉降计算经验系数 ψ_{sp} 根据当地沉降观测资料及经验确定,当无地区经验时,沉降计算经验系数 ψ_{sp} 可按表 5.3.1 数值采用。

表 5.3.1 沉降计算经验系数 ψ_{sp}

$\overline{E_s}$ (MPa)	4.0	7.0	15.0	20.0	35.0
ψ_{sp}	1.0	0.7	0.4	0.25	0.20

注：1. $\overline{E_s}$ 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\overline{E_s} = \frac{\sum A_i}{\sum A_i / E_{si}}$$

式中： A_i ——第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；
 E_{si} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量值 (MPa)，桩长范围内的复合土层按复合土层的压缩模量取值。

5.3.2 地基变形计算深度应大于复合土层的厚度，分层总和法地基变形计算深度应同时满足式 (5.3.2-1) 和式 (5.3.2-2) 控制标准。

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (5.3.2-1)$$

$$\sigma_z \leq 0.1 \sigma_c \quad (5.3.2-2)$$

式中： $\Delta s'_n$ 、 $\Delta s'_i$ ——分别为第 n 分层、第 i 分层计算变形量 (mm)；

σ_z ——计算深度 z 处的附加应力 (kPa)；

σ_c ——计算深度 z 处的土的自重应力 (kPa)。

6 夯扩桩施工

6.1 一般规定

6.1.1 扩大头应采用干硬性混凝土夯填，填料坍落度宜为 20 ~ 40mm。扩大头的填料量应以十击贯入度控制，不宜大于计算值的 1.2 倍。桩身混凝土坍落度宜为 160mm ~ 200mm。

6.1.2 配制混凝土的粗骨料宜选用碎石或卵石，其最大粒径不宜大于 40mm。其骨料粒径不得大于钢筋间距最小净距的 1/3。细骨料应选用中粗砂，细度模数为 2.3 ~ 3.4，含泥量小于 3%。

6.1.3 夯扩桩成桩的施工允许偏差应满足表 6.1.3 的要求。

表 6.1.3 夯扩桩成孔施工允许的偏差

项 目		桩位允许 偏差 ≤ (mm)	桩径 偏差 ≤ (mm)	垂直度 允许偏差 (%)
单桩	$d \leq 500\text{mm}$	70	-20	1
	$d > 500\text{mm}$	100		
复合地基	$d \leq 500\text{mm}$	100		
	$d > 500\text{mm}$	125		
条形桩基沿垂直轴线方向的 桩和群桩基础中的边桩	$d \leq 500\text{mm}$	70		
	$d > 500\text{mm}$	100		
条形桩基沿轴线方向的桩和 群桩基础的中间桩	$d \leq 500\text{mm}$	125		
	$d > 500\text{mm}$	150		
注：桩径偏差 -20mm 是指个别缩孔缺陷断面。				

6.1.4 钢筋笼的制作允许偏差应符合下列规定：

表 6.1.4 钢筋笼制作允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
主筋间距	± 10
箍筋间距	± 20
钢筋笼直径	± 10
钢筋笼长度	± 100

6.2 施工准备

6.2.1 夯扩桩施工前应收集和准备下列资料：

- 1 建筑场地岩土工程勘察报告；
- 2 桩基工程施工图及图纸会审纪要；
- 3 建筑场地和邻近区域内的高压线路、通信线路、地下管线（管道、电缆等）、地下构筑物及对振动有严格要求建（构）筑物的调查资料；
- 4 确认施工噪音对建筑场地附近居民区的影响情况；
- 5 主要施工机械及其配套设备的技术性能参数；
- 6 附近类似工程的试桩报告、检测报告及竣工报告。

6.2.2 夯扩桩施工前应完成下列资料：

- 1 桩基工程施工方案；
- 2 水泥、砂、石、钢筋、混凝土等材料的质检报告和配合比报告；
- 3 辨识施工场地的环境因素，形成环境因素清单；
- 4 识别施工过程中危险源，确定重大风险。

6.2.3 夯扩桩施工前应具备下列作业条件：

1 场地内的障碍物和地下埋设物（如地下管线、旧基础等）已排除，有隔振要求的邻近建筑物已采用保护措施；

2 施工用水、电、道路满足施工要求；

3 场地已整平，承载能力满足设备运行要求；

4 基坑开挖应满足施工要求，普探工作应符合陕西省工程建设标准《建筑场地基坑探查与处理技术规程》DBJ-61-57 规定。

6.2.4 施工前应对测量控制点进行复核并进行加固保护，控制点应设置在夯扩桩施工影响范围以外，施工中应定期复测。

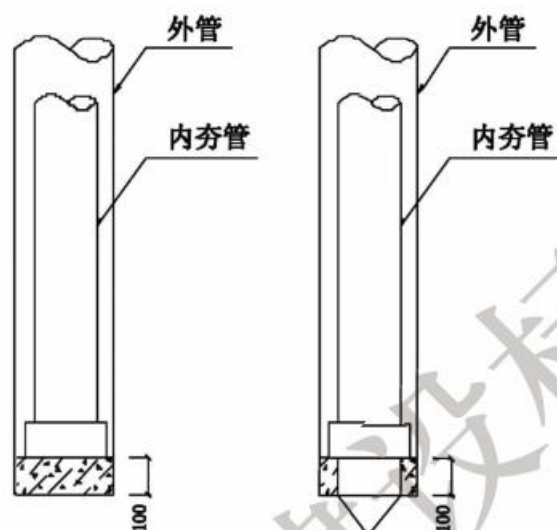
6.2.5 施工前应按设计图的要求进行桩位测放，桩位测放应符合《工程测量规范》GB50026 的相关技术规定。

6.2.6 施工前应选择具有代表性的地段进行试成孔和扩大头成型试验，并详细记录有关的夯扩参数及贯入度等数据，确定桩锤型号。

6.3 现场施工

6.3.1 夯扩桩机由机架、桩锤、外管、内夯管及卷扬机等组成，成桩采用外管与内夯管组合锤击夯压成孔，填料扩底工艺。夯扩桩施工工艺流程见附录 A。

6.3.2 内夯管应比外管短 100mm，内夯管底端可采用闭口平底或闭口锥底（图 6.3.2）。内夯管底部应加焊一块直径比外管内径小 10mm~20mm，厚 20mm 左右的封底圆形钢板。



(a) 平底内夯管

(b) 锥底内夯管

图 6.3.2 内外管及封底板

6.3.3 外管的配置长度应按下式确定：

$$L \geq L_1 + L_2 + L_3 + Z \quad (6.3.3)$$

式中： L —— 外管长度（m）；

L_1 —— 持力层顶面埋深（m）；

L_2 —— 投料口距桩管顶的距离，一般取 1.5m ~ 2.5m；

L_3 —— 振动锤高度，若配置振动锤时一般取 2.5m；

Z —— 桩身进入持力层的深度（m）。

6.3.4 桩机设备对点后，保持桩机平整、调整机架及桩管垂直。

6.3.5 桩管入土深度应按设计桩长控制或按试成桩确定的贯入度控制并满足设计要求。

6.3.6 沉管过程中，内、外管间发生间隙涌水、涌泥时，应采取封水措施。可采用在桩位点预先放置干硬性混凝土或无水混

凝土配料，经夯击形成阻水、阻泥管塞。

6.3.7 当沉管有困难时，可采用钢筋混凝土预制桩靴或锥底内夯管成孔，也可采用预钻引孔法施工。

6.3.8 桩端持力层为水下砂层时，第一次拔管高度不宜大于 0.20m。

6.3.9 扩大头的填料夯扩应严格按试桩确定的夯扩次数和夯扩参数进行，并满足贯入度的要求。

6.3.10 钢筋笼的制作与焊接应满足下列要求：

1 分段制作的钢筋笼，其接头宜采用焊接或机械连接，并应符合《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107、《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定；

2 加劲箍筋应设为主筋内侧。

6.3.11 混凝土灌注应满足下列要求：

1 混凝土应分段浇筑，桩身混凝土充盈系数不应小于 1.0；

2 灌注混凝土时应按要求制作试件，同一配合比混凝土试块每台班不得少于一组，超过 50m³ 时，应增加一组；

3 成桩混凝土灌注面应高于设计桩顶标高 500mm，并不低于钢筋笼顶标高。

6.3.12 拔管应满足下列要求：

1 拔管时内夯管压在外管内混凝土顶面上，开启振动锤缓慢均匀地上拔外管，直至同步终止于施工要求的桩顶标高处；

2 拔管速度一般土层宜为 1m ~ 2m/min，在淤泥质土和饱和软黄土层中或在软硬土层交界处及扩大头与上部桩身连接处宜为 0.6m ~ 0.8m/min。

6.3.13 内外管提出地面后，应采用插入式振动器对上部 4m 的

桩身混凝土进行振捣密实。

6.3.14 当桩长超过 16m，夯扩桩施工时宜增设二次拔管装置和机架反载配重，以提高拔管能力和桩机的稳定性。

6.3.15 打桩顺序应符合下列规定：

1 采用退打的方式自中间向两端对称进行，当一侧毗邻建筑物时，应由毗邻建筑物向另一侧退打；

2 对饱和土中桩和密集形桩宜采用隔排或隔桩跳打法，跳打间歇时间应根据孔隙水压力观测结果和桩身强度确定，间歇时间不应小于 8h，严禁 24h 连续作业；

3 在实施跳打过程中，应避免在移机时对已成桩的碾压；

4 根据持力层埋深情况，按先深后浅的顺序进行；

5 根据桩长，按先长后短的顺序进行。

6.3.16 施工中应作好施工记录，详见附录 B。

6.4 施工质量控制

6.4.1 施工质量控制应包括以下内容：

1 材料检验：对所有使用的钢筋、水泥、砂、石应做材料检验，各项指标应符合有关规定要求，其中钢筋、水泥、商混应具有出厂合格证明和复检试验报告；干硬性混凝土应提供配合比报告；

2 钢筋笼制作与埋设应符合设计要求，制作偏差应满足本规程第 6.1.4 规定；

3 现场施工过程中应随时检查施工记录，并进行质量评定；

4 施工过程应会同监理单位进行夯扩桩成孔、灌注及钢筋

笼隐蔽工程验收，详见附录 C。

6.4.2 混凝土试件的强度应符合《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定。

6.4.3 夯扩桩桩间土开挖后，施工单位应及时会同监理进行现场桩数、桩位、桩顶标高、锚固筋长度、桩头外观质量及桩间土情况的核查，如发现有漏桩、桩位偏差过大等质量问题时，应采取补救措施。具备验收条件时，及时通知建设单位组织有关人员进行验收。

6.4.4 施工过程中的资料应随进度同步整理；施工完成后，按有关资料整编规定，分类整理成册。

7 夯扩桩质量检测与验收

7.1 一般规定

7.1.1 检测单位及检测人员应具备相应的资质和资格；检测所用仪器设备应在计量检定的有效期内。

7.1.2 检测桩位的选择应具有代表性；检测过程中发现有严重桩身质量问题时应加倍检测数量。

7.1.3 夯扩桩的完整性检测，可采用低应变法，宜在受检桩混凝土龄期达到 15d 后进行。

7.1.4 夯扩桩静载试验，宜在受检桩混凝土龄期达到 28d 后进行。

7.1.5 单桩静载试验及复合地基静载试验前，应先进行低应变法完整性检测。

7.1.6 对预处理消除湿陷性的夯扩桩工程，在夯扩桩施工前，应按《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的规定进行湿陷性评价。

7.2 基桩检测

7.2.1 基桩完整性检测数量不应少于总桩数的 50%，且单项工程不得少于 10 根；墙下单排布桩、柱下承台 3 桩及 3 桩以下布桩应全部检测。

7.2.2 基桩单桩静载荷检测数量不应少于总桩数的 1%，且不少于 3 根；桩数少于 50 根时，不应少于 2 根。

7.2.3 低应变法检测中不能判定完整性类别的桩，可根据桩长、缺陷深度、地质条件等，采用开挖、抽芯或单桩静载试验的方法进行验证检测。

7.2.4 低应变法检测中扩大头与桩身结合效果较差的夯扩桩，应采用静载试验的方法进行验证检测。

7.3 复合地基检测

7.3.1 夯扩桩复合地基，完整性检测数量不应少于总桩数的30%。

7.3.2 夯扩桩复合地基应进行单桩承载力检测和复合地基承载力检测。

7.3.3 单桩静载荷检测数量不应当少于总桩数的0.5%，且不少于3根；桩数少于50根时，不应少于2根。

7.3.4 复合地基承载力检测数量不应少于桩总数的0.5%，且不少于3处；桩数少于50根时，不应少于2处。

7.3.5 低应变法检测中不能判定完整性类别的桩，可根据桩长、缺陷深度、地质条件等，采用浅层开挖或单桩静载试验的方法进行验证检测。

7.4 竣工验收

7.4.1 验收工作由建设单位组织，勘察、设计、施工、监理、检测单位的技术负责人参加。

7.4.2 验收工作应在夯扩桩施工单位自检及监理单位核查合格的基础上进行；参加验收的人员进行复查，复查分为资料审查

和现场实体检查。

7.4.3 夯扩桩验收时应具备以下资料：

1 施工质量管理资料：

- 1) 开/竣工报告；
- 2) 施工方案及审批；
- 3) 特殊工种岗位证书；
- 4) 施工设备合格证书；
- 5) 施工图纸会审纪录、设计交底记录；
- 6) 施工安全、技术交底记录；
- 7) 工序交接、中间交接、单位之间交接检查记录；

2 施工质量控制资料

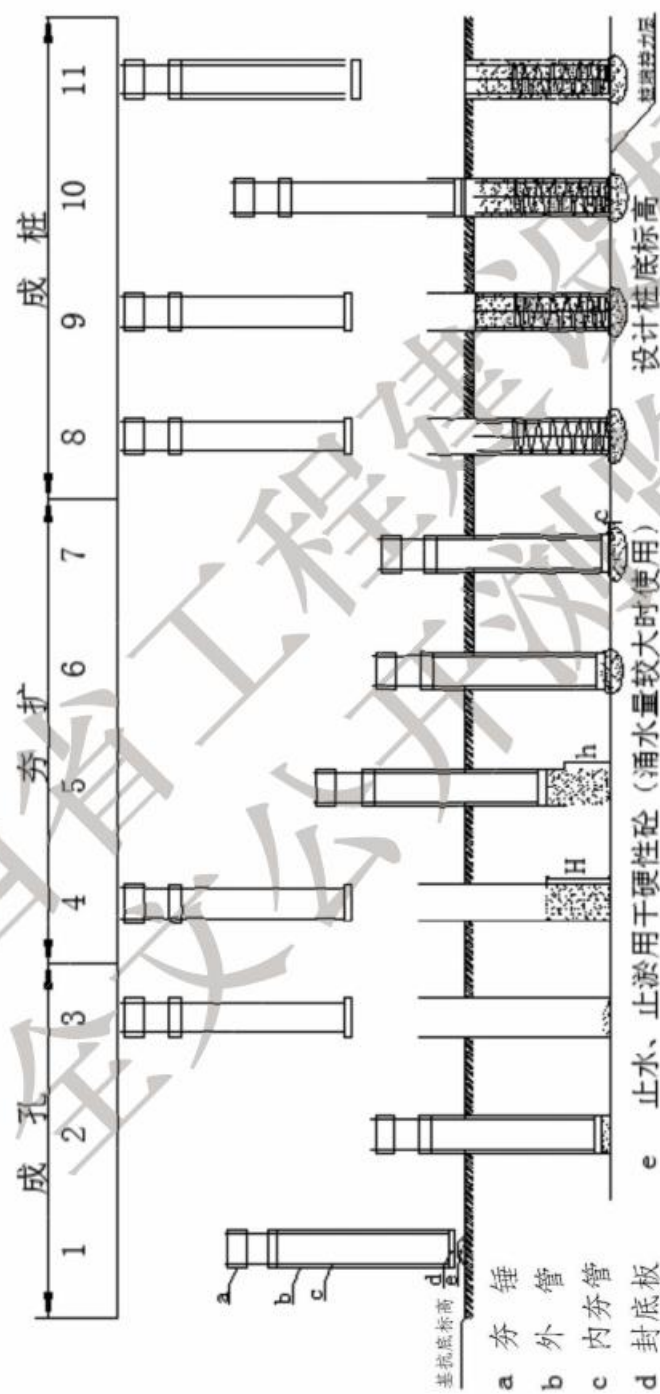
- 1) 工程定位测量放线
- 2) 地基验槽记录；
- 3) 钢材出厂合格证及复检报告；
- 4) 钢筋焊接性能检验报告；
- 5) 水泥、砂、石复检报告；
- 6) 砼抗压强度检验报告、统计分析评定；
- 7) 混凝土配合比报告；

3 施工技术资料；

- 1) 夯扩桩施工记录；
- 2) 夯扩桩成孔、灌注及钢筋笼隐蔽验收记录；
- 3) 混凝土灌注桩（钢筋笼）工程检验批质量验收记录表；
- 4) 混凝土灌注桩工程检验批质量验收记录表；
- 5) 分项工程质量验收记录；
- 6) 分部（子分部）工程质量验收记录；

4 夯扩桩竣工图

附录 A 夯扩桩施工工艺流程



图A.0.1 夯扩桩施工工艺流程示意图



图 A.0.2 夯扩桩施工工艺流程图

附录 B 夯扩桩施工记录表

专业		建筑与结构		资料名称		施工记录（地基部分）									
建设单位：_____				施工单位：_____											
工程名称：_____				设计桩径、桩长：_____											
混凝土坍落度/强度等级：_____				桩顶设计标高/钢筋笼长：_____											
施工日期	施工序号	施工桩号	沉管入土深度 m	沉管锤击总数	沉管最后三阵击贯入度 cm			夯扩（多次夯扩依次向下记录）					桩身投料量 m ³	充盈系数	成桩时间
					1	2	3	投料高度 m	拔管高度 m	沉管深度 m	锤击次数	最后击贯入度 cm			
施工单位参加人员										监理（建设）单位参加人员					
施工班组长		质检人员		审核人员		专业技术人员									
年 月 日		年 月 日		年 月 日		年 月 日		年 月 日							
施工单位专业技术负责人						监理工程师（建设单位项目技术负责人）									
年 月 日						年 月 日									

附录 C 夯扩桩成孔、灌注及钢筋笼隐蔽验收记录

专业	建筑与结构	资料名称	施工记录（地基部分）
----	-------	------	------------

建设单位：_____		施工单位：_____	
工程名称：_____		设计桩径、桩长：_____	
混凝土坍落度/强度等级：_____		桩顶设计标高/钢筋笼长：_____	

检查部分	隐蔽验收项目	设计要求	实际验收情况	验收结果
成孔灌注	1. 孔径（mm）			
	2. 孔深或孔底标高（m）			
	3. 有效桩长（m）			
	4. 确认桩端持力层			
	5. 桩倾斜度（%）	<1%		
	6. 干硬性混凝土填入量（m³）	依据贯入度确定		
	7. 最后十击贯入度（cm）			
	8. 桩身混凝土灌注量（m³）		充盈系数： 坍落度：	
钢筋笼	1. 钢筋笼长度、直径、分段（mm）			
	2. 主筋规格、根数			
	3. 箍筋规格、间距（mm）			
	4. 加强筋规格、数量（mm）			
	5. 钢筋分段接头方法			
	6. 钢筋笼顶标高（m）			
施工单位参加人员			监理（建设）单位参加人员	
施工班组长	质检人员	审核人员	专业技术人员	
年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日
施工单位专业技术负责人			监理工程师（建设单位项目技术负责人）	
年 月 日			年 月 日	

本规程用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于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用词：

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，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB 50025
- 2 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 3 《工程测量规范》 GB50026
- 4 《建筑抗震设计规范》 GB50011
- 5 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 6 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 7 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 8 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 9 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 10 《钢筋机械连接技术规程》 JGJ 107
- 11 《钢筋焊接及验收规程》 JGJ 18
- 12 《建筑场地墓坑探查与处理技术规程》 DBJ -61 -57

陕西省工程建设标准

沉管夯扩桩技术规程

DBJ 61/T 102 - 2015

条文说明

目 次

1	总则	45
3	夯扩桩勘察	46
4	夯扩桩基础设计	47
4.1	一般规定	47
4.2	桩身构造	48
4.3	基桩竖向抗压承载力	48
5	夯扩桩复合地基设计	49
5.1	一般规定	49
5.3	复合地基沉降变形验算	49
6	夯扩桩施工	50
6.1	一般规定	50
6.2	施工准备	50
6.3	现场施工	51
7	夯扩桩质量检测与验收	53
7.1	一般规定	53
7.2	基桩检测	53
7.3	复合地基检测	54

1 总 则

1.0.1 ~ 1.0.3 沉管夯扩桩适用持力层埋藏较浅，容易形成扩大头明显提高桩基承载力的地层。陕西关中、陕南、陕北均存在这类地层，在工程建设中夯扩桩已广泛地应用，积累了大量的工程实践经验。为了规范夯扩桩的勘察、设计、施工、质量检测与验收，做到安全适用、技术先进，经济合理、确保质量、保护环境，特制定本规程。

沉管夯扩桩的设计应综合考虑上部荷载及结构特征，做好岩土工程勘察工作，确定桩基持力层，施工中应充分考虑对环境的影响。

3 夯扩桩勘察

3.0.1 夯扩桩端承作用优势明显，所以在岩土工程勘察过程中，对预计可能作为夯扩桩桩端持力层的土层除应符合一般土层的勘察要求外，还应针对性地布置一些原位测试手段。

3.0.2 我省广泛分布湿陷性黄土和饱和黄土，其对工程建设危害较大，在勘察阶段应特别查明湿陷性黄土、饱和黄土的分布和性质，并提出成桩适宜性及措施建议。

4 夯扩桩基础设计

4.1 一般规定

4.1.2 扩大头在黄土中时应避开水位变化位置，宜在地下水位以下 2 米或地下水位以上 5 米形成扩大头。

4.1.4 夯扩桩扩大头在单桩竖向承载力中起着重要作用，其端承作用受进入持力层深度的影响较大，因此扩大头应进入持力层一定深度，才能有效发挥扩大头的承载力。

4.1.5 地震发生时，液化土层部分或完全丧失承载力，因此桩端应穿过液化土层进入非液化土层一定深度，以保证桩体稳定可靠。在计算桩身摩阻力时，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定，并对液化土层中的摩阻力进行折减。土层液化时，会对桩体产生水平力，同时桩体失去周围土体的围裹，桩径较小的桩体有可能发生压屈破坏，故桩身穿过液化土层时，桩径不宜小于 500mm，并应适当加大桩身配筋。

4.1.8 采用一柱一桩时，桩基施工误差会造成较大的柱底偏心弯矩。确因工程需要采用时，桩径不宜过小，同时，加大桩身配筋，且沿轴线设置双向连系梁。

4.1.9 夯扩桩施工时会对桩周土产生挤土效应，在桩侧土中引起超静孔隙水压力，造成桩体上浮和位移。饱和黄土和淤泥质土中这一现象尤其明显，故需要适当加大桩距。

4.1.11 夯扩桩直径一般为 350mm ~ 600mm，当桩径大且桩端持力层可靠时，单桩竖向抗压极限承载力主要受桩身强度控制，

其取值不宜大于 5000kN。

4.1.18 根据《建筑桩基技术规范》JGJ 94，对于裂缝控制等级为一级的抗拔桩，桩身应设置预应力筋；对于裂缝控制等级为二级的抗拔桩，桩身宜设置预应力筋。

4.2.2 受设备和工艺的限制，目前夯扩桩桩径一般为 350mm ~ 600mm，成桩深度不大于 25m，考虑夯扩桩的特点，长径比不宜大于 50。

4.2 桩身构造

4.2.7 公式 4.2.7-1 ~ 4.2.7-3 是在假定扩大头为球形，按等体积推导，根据在铜川某现场试验，扩大头形状呈纺锤形，夯填量与公式计算基本一致。受黄土大孔特性和夯填材料的夯实压缩性及施工工艺的影响，第 1 次夯填到第 n 次夯填，扩大头直径修正系数 α 逐渐趋于 1，综合考虑取 0.9。

4.3 基桩竖向抗压承载力

4.3.4 对桩端持力层为砂土、碎石土及地下水位以上的黏性土，在夯扩形成扩大头的过程中，对桩端土有挤密夯实作用，提高了桩端下一定范围内土的承载力，故适当提高端阻力调整系数；当桩端持力层为地下水位以下的黏性土层时，受施工工艺影响，对桩端承载力进行适当折减。

5 夯扩桩复合地基设计

5.1 一般规定

5.1.2 为了控制地基的总沉降量，桩端持力层不宜选择在淤泥质土和饱和软黄土等软弱土层中；根据施工经验，在碎石类土扩大头形成困难，但由于持力层强度高，可不要求形成扩大头，应进入持力层一定深度。

5.1.5 桩距应根据设计要求的复合地基承载力、土性、施工工艺等参数确定，宜取 3.5 ~ 4.0 倍桩径或 1.5 ~ 2.0 倍的扩大头直径。

5.3 复合地基沉降变形验算

5.3.1 准确计算地基沉降变形是一个非常复杂的问题，其中各种受力及计算模型也非常多，考虑的因素及适用条件也不尽相同，考虑到工程技术应用方便等原因，本规范仍采用传统的分层总和法计算复合地基的变形量。

5.3.2 夯扩桩复合地基的沉降变形一般包含两部分，一部分为加固复合体段的变形量 s_1 及复合加固体以下压缩土层的变形量 s_2 ，由于加固体复合模量较高，因此 s_1 一般非常小，变形主要为 s_2 ，本规范对变形计算深度规定，不但应满足 (5.3.2-1) 式相对变形量条件并应满足 (5.3.2-2) 式附加应力与自重应力之比。

6 夯扩桩施工

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土制作时的坍落度应分夯扩体部分和桩身部分，其中夯扩体部分应小些，以形成较密实较大的扩大头；桩身部分应大些，以保证桩身质量完好。

扩大头的填料量应以十击贯入度控制，其填料量不宜大于计算值的1.2倍，当填料量大于计算值的1.2倍时，说明持力层选择不当或施工参数不适宜，应予调整。

6.1.3 考虑夯扩桩的受力特性，对条形桩基沿垂直轴线方向的桩和群桩基础中的边桩桩位偏差进行了较严格控制。

6.2 施工准备

6.2.1 ~ 6.2.2 夯扩桩施工前应做好资料收集工作，以利于编制有针对性的施工组织方案。

6.2.4 施工现场大型机械多，控制点易遭受破坏，因此需要进行保护；为避免受施工振动影响，控制点应设置在施工影响范围以外；为确保控制点精度可靠，要求定期复测。

6.2.5 根据《工程测量规范》GB50026的相关技术要求以及夯扩桩特点，桩位放样偏差一般可取表6.1.3夯扩桩成孔施工允许偏差1/10。

6.3 现场施工

6.3.7 表 1 中列出了夯扩桩施工中常见问题的发生原因和处理措施。

表 1 施工中常见问题及处理措施

常见问题	发生原因	处理措施
桩管涌水、涌泥	1 管塞混凝土量不足 2 内管封底板直径过小，与外管内径的间隙过大	1 增加管塞混凝土量 2 加大内管封底板直径 3 回填后重新沉管施工
地面隆起	1 桩距小 2 地基中孔隙水压力不易消散	1 调整桩间距 2 采取合理的打桩顺序和时间间歇等措施
钢筋笼下沉和笼顶低于设计标高	1 钢筋笼预留长度不够 2 混凝土超灌量不够 3 桩身混凝土坍落度过大	1 认真做好试成桩工作，准确地掌握混凝土超灌量和钢筋笼高度 2 严格控制混凝土坍落度
钢筋笼上浮	1 混凝土中粗骨料粒径过大 2 钢筋笼箍筋间距过密 3 钢筋笼制作质量差	1 严格控制粗骨料粒径不大于 40mm 2 控制钢筋笼箍筋间距，保证制作质量
桩身混凝土呈蜂窝状或离析	1 混凝土中粗骨料粒径过大 2 钢筋笼主筋、箍筋间距过密 3 钢筋笼制作质量差 4 拔管过快 5 未按规定对桩身混凝土振捣	1 控制混凝土粗骨料粒径不大于 40mm 2 调整钢筋笼主筋、箍筋间距 3 控制钢筋笼制作质量 4 控制拔管速度 5 按规定振捣
桩身缩径	1 拔管过快或内夯管未压在混凝土面上 2 桩距过小 3 混凝土坍落度不合适	1 控制拔管速度，内夯管均匀下压 2 跳打或延长间歇时间 3 控制混凝土坍落度

续表 1 施工中常见问题及处理措施

常见问题	发生原因	处理措施
断 桩	1 桩间距过小 2 混凝土坍落度过小形成脱空 3 混凝土初凝后，在桩附近堆放重物或车辆行走	1 跳打：相邻桩达到设计强度的 70% 以上再进行 2 控制混凝土坍落度 3 注意现场保护
扩孔困难	1 一次投料量过大 2 局部地层过硬	1 减小投料量或增加夯扩次数 2 引孔或采用锥形桩尖

6.3.8 桩端持力层为水下砂层时，限定第一次拔管高度，是保证水不涌入外管，造成桩身质量缺陷。

6.3.10 夯扩桩钢筋笼需在外管内放置下去，为便于施工，加劲箍宜设为主筋内侧。当确因施工工艺有特殊要求时也可置于外侧，但施工难度较大，不利于钢筋笼顺利下到管内，拔管时易挂管壁而带出钢筋笼。

6.3.12 掌握好拔管速度是保证桩身完整性的重要条件，在淤泥质土、饱和软黄土层中或在软硬土层交界处及扩大头与上部桩身连接处拔管过快往往造成缩径、离析等质量缺陷，严重时造成断桩。

6.3.15 对饱和土中桩和密集形桩打桩顺序及间歇时间的要求，是为了防止桩间土隆起及周边相邻桩体上浮。

7 夯扩桩质量检测与验收

7.1 一般规定

7.1.2 为了在有限的检测数量中充分暴露桩存在的质量问题，应选择施工质量有疑问的桩、局部地基条件出现异常的桩、设计方认为重要的桩、施工工艺不同的桩。对Ⅱ、Ⅲ类桩比例较大，不能为补强和设计变更提供可靠依据时，应加倍检测。

7.1.3 桩身混凝土强度与波速有一定的相关关系，若龄期较短混凝土强度达不到设计强度的70%，低应变曲线不能正确反映桩身完整性信息，如缺陷位置、桩长等。

7.1.5 一般情况下，低应变法检测桩身完整性有较大缺陷时，不宜进行静载试验，若为处理有问题桩提供依据时，也可对低应变法判定为缺陷桩进行静载试验。

7.2 基桩检测

7.2.1 夯扩桩桩身和扩大头的结合处，容易出现质量问题；另外，在提拔外管时，速度过快或地层原因，桩身容易出现缺陷，考虑基桩的重要性，故提高检测比例。

7.2.3 低应变法检测中不能判定完整性类别的桩存在结构安全隐患，因此应选择更直接的检测方法进行验证检测。

7.3 复合地基检测

7.3.1 夯扩桩作为复合地基的增强体，承受上部主要荷载并控制地基变形，因此对成桩质量有严格要求，提高检测比例是适宜的。

7.3.2 复合地基载荷试验的承压板宽度较小，不能全面反映复合地基的承载特性，因此，应对单桩进行静载荷试验。

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Investigation of Computed base-enlarge pile	5
4	Design of Computed base enlarge-pile foundation	7
4.1	General Requirements	7
4.2	Structure of Pile	11
4.3	Vertical bearing capacity of foundation pile	13
4.4	Uplift bearing capacity of foundation pile	18
4.5	Horizontal Bearing Capacity of foundation pile	19
4.6	Pile Strength checking	20
4.7	Settlement Calculation of Pile Foundation	21
5	Design of Composite Foundation of Computed base-enlarge pile	22
5.1	General Requirements	22
5.2	Bearing Capacity Calculation of Composite Foundation	23
5.3	Deformation Calculation of Composite Foundation	24
6	Construction of Computed base-enlarge pile	26
6.1	General Requirements	26

6.2	Construction Preparation	27
6.3	Construction	28
6.4	Construction Quality Inspection	31
7	Inspection and Acceptance of Quality	33
7.1	General Requirements	33
7.2	Testing of Pile Foundation	33
7.3	Testing of Compound Foundation	34
7.4	Acceptance of Construction	34
Appendix A	Process flow of Computed base-enlarge pile	36
Appendix B	Records of Computed base-enlarge pile	38
Appendix C	Records of Pile Hole, Perfusion and Reinforcement Cage Covert Acceptance	39
	Explanation of Wording in This Specification	40
	List of Quoted Standards	41
	Addition: Explanation of Provisions	43