

DB

河北省工程建设标准

DB 13 (J) /T138—2012

住房和城乡建设部备案号: J12094—2012

湿陷性黄土地区夯扩挤密桩技术规程

Technical specification of ramming extrusion
compaction pile in collapsible loess regions

2012—05—28 发布

2012—09—01 实施

河北省住房和城乡建设厅 发布

河北省工程建设标准

湿陷性黄土地区夯扩挤密桩技术规程

**Technical specification of ramming extrusion
compaction pile in collapsible loess regions**

DB 13 (J) /T138—2012

主编单位：河北建设勘察研究院有限公司

批准部门：河北省住房和城乡建设厅

施行日期：2012 年 9 月 1 日

中国建材工业出版社

2012 北京

河北省工程建设标准

湿陷性黄土地区夯扩挤密桩技术规程

Technical specification of ramming extrusion compaction
pile in collapsible loess regions

DB 13(J)/T138—2012

*

中国建材工业出版社出版（北京市西城区车公庄大街6号）

石家庄市红旗印刷厂印刷

*

开本：850mm×1168mm 1/32 印张：1.875 字数：39.7千字

2012年6月第一版 2012年6月第一次印刷

印数：2000册 定价：15.00元

统一书号：155160·116

河北省住房和城乡建设厅文件

冀建质[2012]351 号

河北省住房和城乡建设厅 关于发布《湿陷性黄土地区夯扩挤密桩 技术规程》的通知

各设区市住房和城乡建设局（建设局），华北石油管理局：

根据原河北省建设厅《关于印发<2008 年度河北省工程建设标准和标准设计编制计划>的通知》（冀建质[2008]84 号）要求，河北建设勘察研究院有限公司会同有关单位编制了《湿陷性黄土地区夯扩挤密桩技术规程》，经组织审查，批准为河北省工程建设标准，编号为 DB 13(J)/T138—2012，现予以发布，自 2012 年 9 月 1 日起施行。

本规程由河北建设勘察研究院有限公司负责解释，由河北省工程建设标准化管理办公室负责管理。

二〇一二年五月二十八日

前 言

本规程是根据原河北省建设厅《关于印发〈2008 年度河北省工程建设标准和标准设计编制计划〉的通知》（冀建质〔2008〕84 号）要求，由河北建设勘察研究院有限公司负责编制完成的。

夯扩挤密桩因具有施工简便、造价低廉、能很好地消除黄土的湿陷性、提高地基承载力等优点，从而得到了广泛应用。为积极稳妥地推广夯扩挤密桩在湿陷性黄土地区的应用，河北建设勘察研究院有限公司以多年的工程实践和应用研究成果为基础，对夯扩挤密桩技术进行了系统的总结，在广泛征求有关单位和专家意见、多次修改的基础上，编制完成了本规程，作为河北省进行湿陷性黄土地区夯扩挤密桩设计、施工、监理和工程验收的依据。

本规程由河北省工程建设标准化管理办公室负责管理，由河北建设勘察研究院有限公司负责技术内容的解释。本规程执行过程中，请各有关单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给河北建设勘察研究院有限公司（石家庄市建华南大街 58 号；邮编 050031，联系电话：0311-85056029，邮箱：hbjk_jsb@163.com），以供今后修订时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和审查人员名单：

主编单位：河北建设勘察研究院有限公司

参编单位：石家庄铁道大学

主要起草人：韩立君 梁金国 聂庆科 李华伟 刘利平
吴立春 孙运青 王厚星 刘晶晶 王 伟
李志全 李晨雁 殷青芳 杨广庆 杨海朋
乔永立 郭宏亮 郭 军 石明禄 刘立冬
李亚军

审 查 人 员：张振栓 贾文华 何柏林 岳祖润 王海周
刘明臣 刘珍岩 杨小荟 李蕴镭

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	基本规定	5
4	设 计	7
4.1	一般规定	7
4.2	桩的选型与布置	9
4.3	承载力计算	11
4.4	变形计算	12
5	施 工	15
5.1	施工准备	15
5.2	材 料	16
5.3	试 桩	17
5.4	成孔施工	18
5.5	夯扩施工	19
5.6	褥垫层	20
5.7	施工质量控制	20
6	检测与验收	21
6.1	施工监理	21

6.2	质量检验.....	22
6.3	工程验收.....	25
附录 A	夯实水泥土标准强度试验要点.....	26
附录 B	夯扩挤密桩施工记录表.....	28
附录 C	桩体的压实系数和桩间土的挤密系数试验要点.....	29
附录 D	桩体土干密度检验表.....	30
	本规程用词说明.....	31
	引用标准名录.....	32
	条文说明.....	33

CONTENTS

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
4	Design.....	7
4.1	General Requirements.....	7
4.2	Type Selection and Arrangement of Pile.....	9
4.3	Bearing Capacity Calculation.....	11
4.4	Deformation Calculation.....	12
5	Construction	15
5.1	Construction Preparation.....	15
5.2	Materials.....	16
5.3	Test Pile.....	17
5.4	Pore Forming Construction.....	18
5.5	Ramming Construction.....	19
5.6	Cushion.....	20
5.7	Construction Quality Control.....	20
6	Inspection and Acceptance.....	21
6.1	Construction Supervision.....	21

6.2	Quality Inspection.....	22
6.3	Engineering Acceptance.....	25
Appendix A	Key Points for Compaction Factor of Pile and Compaction Coefficient of the Soil between Piles Testing.....	26
Appendix B	The Record Table for Construction of Ramming Extrusion Compaction Pile.....	28
Appendix C	Key Points for Standard Strength of Rammed Soil-cement Testing.....	29
Appendix D	The Table for Quality Inspection of Ramming Extrusion Compaction Pile.....	30
	Explanation of Wording in This Code	31
	List of Quoted Standards.....	32
	Explanation of Provisions	33

1 总 则

1.0.1 为在湿陷性黄土地区应用夯扩挤密桩时贯彻执行国家的技术、经济、环境保护政策，遵循安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境等原则，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于湿陷性黄土地区工业与民用建（构）筑物、铁路、公路、机场等工程的夯扩挤密桩的设计、施工和质量检验。

1.0.3 执行或应用本规程时，应根据场地条件、工程特点、建筑结构、岩土工程勘察资料、材料供应、施工条件等因素，做到因地制宜、就地取材，精心设计、精心施工。

1.0.4 在湿陷性黄土地区采用夯扩挤密桩法处理地基时，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 夯扩挤密桩法 Ramming extrusion compaction pile method

一种复合地基处理方法。该方法先用细长锤夯击或沉管法成小直径孔至预定深度，然后自下而上边填料边用重锤夯实，扩径形成密实桩体和挤密的桩间土，由夯扩挤密桩体和挤密的桩间土组成复合地基的地基处理方法。

2.1.2 复合地基 Composite foundation, Composite subgrade

部分土体被增强或被置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载的地基。

2.1.3 湿陷性黄土 Collapsible loess

在一定压力下受水浸湿，土结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。

2.1.4 自重湿陷性黄土 loess collapsible under overburden pressure

在上覆土的自重压力下受水浸湿，发生显著附加下沉的湿陷性黄土。

2.1.5 非自重湿陷性黄土 loess noncollapsible under overburden pressure

在上覆土的自重压力下受水浸湿，不发生显著附加下沉的湿陷性黄土。

2.1.6 褥垫层 Cushion

建(构)筑物基础底面与复合地基之间铺设的一层应力传递和调整荷载分配作用的柔性材料。

2.1.7 压实系数 Compaction factor

人工控制土或桩体的干密度与其最大干密度的比值。

2.1.8 挤密系数 Compaction coefficient

采用挤密桩处理后,桩间土的干密度与其最大干密度的比值。

2.1.9 地基变形允许值 Allowable subsoil deformation

为保证建(构)筑物处在正常使用极限状态下而确定的沉降控制值。

2.2 符 号

E_{sp} —— 桩土复合段压缩模量;

f_{sk} —— 桩间土承载力特征值;

f_{spk} —— 复合地基承载力特征值;

P_0 —— 基底附加压力值;

U_p —— 桩的周长;

S —— 桩间距;

s —— 复合地基总沉降量;

d —— 成孔直径;

D —— 桩体直径;

$\bar{\lambda}_c$ —— 平均压实系数;

ρ_{dmax} —— 桩间土的最大干密度;

$\bar{\rho}_d$ —— 地基处理前土的平均干密度;

- $\overline{\eta_c}$ —— 桩间土经成桩挤密后的平均挤密系数;
- η_{dmin} —— 土的最小挤密系数;
- ρ_{d0} —— 夯扩挤密后, 三个桩孔之间形心点部位土的干密度;
- α_{sp} —— 桩土复合段平均附加应力系数;
- h_{sp} —— 桩土复合段的厚度;
- P'_0 —— 下卧层顶面处的附加压力;
- α_i —— 第 i 层土的附加应力系数;
- φ'_s 、 φ_s —— 沉降计算经验系数;
- p_z —— 相应于荷载效应标准组合, 在基础底面下 z 深度处土的附加压力值;
- p_{cz} —— 在基础底面下 z 深度处土的自重压力值;
- k_s —— 可松性系数;
- w_{op} —— 土的最优含水量 (%);
- \overline{w} —— 地基处理前土的平均含水量 (%)。

3 基本规定

3.0.1 湿陷性黄土地区进行夯扩挤密桩设计和地基处理前，应搜集下列资料：

1 拟建工程场地的岩土工程勘察资料：包括地层分层、湿陷性黄土等级和分布范围、湿陷类型、湿陷性黄土层的厚度、湿陷系数和湿陷起始压力随深度的变化、各层土的含水量、塑性指数和有机质含量等；

2 拟建建(构)筑物的总平面图、基础剖面图等基础设计资料；

3 建筑场地的环境情况，调查邻近建筑、地下工程和有关管线等情况。

3.0.2 拟建建筑物分类按《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025的规定分为甲、乙、丙、丁四类。

3.0.3 应根据建筑物的荷载、基础埋深等工程要求，确定地基处理目的、处理范围和处理后要求达到的各项技术经济指标等。

3.0.4 应结合工程情况了解本地区相似场地上同类工程的地基处理经验和施工条件，对于有特殊要求的工程，尚应了解其他地区相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等。

3.0.5 夯扩挤密桩可处理地基的深度宜为 5~18m，处理深度超过 18m 时，宜通过试验确定成桩适宜性。

3.0.6 夯扩挤密桩处理黄土湿陷性不得使用盐渍土、膨胀土、冻土、有机质等不良土料和粗颗粒的透水性（如砂、石）材料作为

填料。当以消除地基土的湿陷性为主要目的时，宜选用素土；当同时有提高地基土的承载力或增强其水稳性为主要目的时，宜选用灰土或水泥土。

3.0.7 当地基土的含水量大于 24%、饱和度大于 65%时，不宜选用该方法。

3.0.8 对《建筑地基基础设计规范》GB50007 规定应作变形验算的建(构)筑物，经地基处理后，在施工和使用阶段应进行沉降观测，直到沉降达到稳定为止。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 夯扩挤密桩处理湿陷性黄土的面积，应大于基础或建筑物底层平面的面积，并应符合下列规定：

1 当采用局部处理时，超出基础底面的宽度，对非自重湿陷性黄土地基，每边不应小于基底宽度的 0.25 倍，且不应小于 0.50m；对自重湿陷性黄土地基，每边不应小于基底宽度的 0.75 倍，且不应小于 1.00m；

2 当采用整片处理时，超出建筑物外墙基础底面外缘的宽度，每边不宜小于处理土层厚度的 1/2，且不应小于 2m。

4.1.2 夯扩挤密桩处理湿陷性黄土的深度，应根据建筑场地的土质情况、建筑物类别和设计要求等综合因素确定，宜将桩端选在较好的持力层上。

当地基的湿陷变形、压缩变形或承载力不能满足设计要求时，在地基压缩层内或湿陷性黄土层内采取夯扩挤密桩处理时，应符合下列要求：

- 1 甲类建筑应消除地基的全部湿陷量；
- 2 乙、丙类建筑应消除地基的部分湿陷量。

4.1.3 甲类建筑消除地基全部湿陷量的处理厚度，应符合下列要求：

1 在非自重湿陷性黄土场地，应将基础底面以下附加压力与上覆土的饱和自重压力之和大于湿陷性起始压力的所有土层进

行处理，或处理至地基压缩层的深度止；

2 在自重湿陷性黄土场地，应处理基础底面以下的全部湿陷性黄土层。

4.1.4 乙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度，应符合下列要求：

1 在非自重湿陷性黄土场地，不应小于地基压缩层深度的 $2/3$ ，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值不应小于 100kPa ；

2 在自重湿陷性黄土场地，不应小于湿陷性土层深度的 $2/3$ ，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于 150mm ；

3 如基础宽度大或湿陷性黄土层厚度大，处理地基压缩层深度的 $2/3$ 或全部湿陷性黄土层深度的 $2/3$ 确有困难时，在建筑物范围内应采用整片处理。其处理厚度在非自重湿陷性黄土场地不应小于 4m ，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值不宜小于 100kPa ；在自重湿陷性黄土场地不应小于 6m ，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不宜大于 150mm 。

4.1.5 丙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度，应符合下列要求：

1 当地基湿陷等级为 I 级时，对单层建筑可不处理地基；对多层建筑，地基处理厚度不应小于 1m ，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值不宜小于 100kPa ；

2 当地基湿陷等级为 II 级时，在非自重湿陷性黄土场地，对单层建筑，地基处理厚度不应小于 1m ，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值不宜小于 80kPa ；对多层建筑，地基处理

厚度不宜小于 2m，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值不宜小于 100kPa；在自重湿陷性黄土场地，地基处理厚度不应小于 2.5m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量，不应大于 200mm；

3 当地基湿陷等级为 III 级或 IV 级时，对多层建筑宜采用整片处理，地基处理厚度分别不应小于 3m 或 4m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量，单层及多层建筑均不应大于 200mm。

4.2 桩的选型与布置

4.2.1 夯扩挤密桩的成孔和成桩应分别完成，成孔直径 d 宜为 300~450mm，桩体直径 D 宜为 450~600mm，并可根据所选用的成孔和成桩设备或施工工艺确定。

4.2.2 采用夯扩挤密桩处理湿陷性黄土时，不宜采用预钻孔；当挤密处理深度超过 12m，挤密成孔确有困难时，可预钻孔，预钻孔孔径不宜大于 $0.5d$ 。

4.2.3 桩孔内的填料，应根据工程要求或处理地基的目的确定，宜用素土、灰土或水泥土。

4.2.4 对消除湿陷性的夯扩挤密桩宜按等边三角形布置，桩孔之间的中心距离可按下式估算：

$$S = 0.95D \sqrt{\frac{\eta_c \rho_{dmax}}{\eta_c \rho_{dmax} - \rho_d}} \quad (4.2.4)$$

式中： S ——桩间距（m）；

D ——桩体直径（m）；

ρ_{dmax} ——桩间土的最大干密度 (g/cm³);
 $\overline{\rho_d}$ ——地基处理前土的平均干密度 (g/cm³);
 $\overline{\eta_c}$ ——桩间土经成桩挤密后的平均挤密系数, 对甲类建筑物不宜小于 0.93; 对乙、丙类建筑物不应小于 0.90。

4.2.5 甲、乙、丙类建筑物桩间距不宜超过表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 各类建筑物桩孔中心距离

序号	建筑物类别	桩间距
1	甲	$\leq 2.0D$
2	乙	$\leq 2.5D$
3	丙	$\leq 2.5D$

表中: D 为桩体直径。

4.2.6 桩体的夯实质量宜用平均压实系数 $\overline{\lambda_c}$ 控制。当桩孔内用素土、灰土或水泥土分层回填、分层夯实时, 桩体内的平均压实系数数值, 均不应小于 0.96。

4.2.7 夯扩挤密后, 桩孔之间土的夯实质量宜用土的最小挤密系数 η_{dmin} 控制。对甲、乙类建筑土的最小挤密系数 η_{dmin} 不宜小于 0.88, 对丙类建筑土的最小挤密系数 η_{dmin} 不宜小于 0.84。桩孔之间土的最小挤密系数 η_{dmin} 可按下式计算:

$$\eta_{dmin} = \frac{\rho_{d0}}{\rho_{dmax}} \tag{4.2.7}$$

式中: η_{dmin} ——土的最小挤密系数;

ρ_{d0} ——夯扩挤密后, 三个桩孔之间形心点部位土的干密度 (g/cm³)。

4.3 承载力计算

4.3.1 夯扩挤密桩复合地基承载力特征值，应通过现场单桩或多桩复合地基载荷试验确定。

4.3.2 在湿陷性黄土地区采用夯扩挤密桩处理地基有提高地基土的承载力要求时，应按《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《建筑地基处理技术规范》JGJ79 中的有关规定进行单桩竖向承载力特征值 R_a 和复合地基承载力特征值 f_{spk} 计算。

初步设计当无试验资料时，可按当地经验确定，但对夯扩水泥土挤密桩复合地基的承载力特征值，不宜大于处理前的 2.5 倍，且不宜大于 300kPa；对夯扩灰土挤密桩复合地基的承载力特征值，不宜大于处理前的 2.0 倍，且不宜大于 250kPa；对夯扩素土挤密桩复合地基的承载力特征值，不宜大于处理前的 1.5 倍，且不宜大于 200kPa。

4.3.3 当桩端下存在软弱下卧层时，应按《建筑地基基础设计规范》GB50007 的有关规定进行软弱下卧层验算。

4.3.4 采用夯扩挤密桩法处理的地基，当按地基承载力确定基础底面积及埋深而需要对本规程确定的地基承载力特征值进行修正时，并应符合下列规定：

- 1 基础宽度的地基承载力修正系数应取零；
- 2 基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0。

4.3.5 对桩身材料为水泥土的夯扩挤密桩复合地基尚应进行桩身强度验算。

4.4 变形计算

4.4.1 按地基变形设计或按《建筑地基基础设计规范》GB50007 规定应作变形验算且需进行地基处理的建(构)筑物,应对处理后的地基进行变形验算。

4.4.2 建筑物的复合地基变形计算值,不应大于地基变形允许值。

4.4.3 地基变形计算深度必须大于复合土层的厚度,并应满足《建筑地基基础设计规范》GB50007 中地基变形计算深度的有关规定。

4.4.4 地基变形特征可分为沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜。建筑物的地基变形允许值应按《建筑地基基础设计规范》GB50007 中的有关规定执行。

4.4.5 进行夯扩挤密桩复合地基沉降计算时,地基内的应力分布可采用各向同性均质线性变形体理论。当荷载 P_0 不大于复合地基承载力时,复合地基总沉降量 s 按照下式计算:

$$s = \varphi'_s \frac{P_0 \alpha_{sp}}{E_{sp}} h_{sp} + \varphi_s \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{P'_0}{E_{si}} (Z_i \alpha_i - Z_{i-1} \alpha_{i-1}) \quad (4.4.5)$$

式中: s ——复合地基总沉降量;

P_0 ——基底附加压力值;

α_{sp} ——桩土复合段平均附加应力系数;

h_{sp} ——桩土复合段的厚度;

E_{sp} ——桩土复合段压缩模量的当量值;

P'_0 ——下卧层顶面处的附加压力;

E_{si} ——基础地面以下第 i 层土的压缩模量,按照实际应力

的范围取值;

n_1 ——加固区的分层数;

n_2 ——总的分层数;

Z_i ——第 i 层土的厚度;

α_i ——第 i 层土的附加应力系数;

φ'_s 、 φ_s ——沉降计算经验系数,根据地区沉降观测资料及经验确定,无地区经验时,按《建筑地基基础设计规范》GB50007 表 5.3.5 要求执行。

4.4.6 桩土复合段压缩模量计算按照复合模量法计算:

$$E_{sp} = \frac{f_{spk}}{f_{sk}} E_s \quad (4.4.6)$$

式中: E_{sp} ——桩土复合段的压缩模量 (MPa);

E_s ——桩间土的压缩模量 (MPa), 可通过现场试验或室内试验取值;

f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa);

f_{sk} ——桩间土的承载力特征值 (kPa)。

4.4.7 地基压缩层的深度: 对条形基础, 可取其宽度的 3 倍, 对独立基础, 可取其宽度的 2 倍。如小于 5m, 可取 5m, 也可按下式估算:

$$p_z = 0.20 p_{cz} \quad (4.4.7)$$

式中: p_z ——相应于荷载效应标准组合, 在基础底面下 z 深度处土的附加压力值 (kPa)。

p_{cz} ——在基础底面下 z 深度处土的自重压力值 (kPa)。

在 z 深度处以下，如有高压缩性土，可计算至 $p_z=0.10 p_{cz}$ 深度为止。

对筏形和宽度大于 10m 的基础，可取其基础宽度的 0.80～1.20 倍，基础宽度大者取小值，反之取大值。

5 施 工

5.1 施工准备

5.1.1 夯扩挤密桩施工前应具备下列资料:

- 1 建筑场地岩土工程勘察资料,当场地较复杂时尚应做必要的补充勘察;
- 2 建(构)筑物基础设计图及夯扩挤密桩设计图;
- 3 建筑物场地和邻近区域内的地上、地下管线及障碍物等的调查资料。

5.1.2 夯扩挤密桩施工前应具备下列条件:

- 1 影响施工的管线及障碍已经清除;
- 2 施工用水、用电有保证,道路畅通,施工场地平整;
- 3 建(构)筑物的坐标、标高的控制桩已设定。

5.1.3 夯扩挤密桩施工前应结合工程特点编制施工组织设计,有针对性地制定相应质量管理措施,主要包括下列内容:

- 1 施工平面图:标明桩位、编号、施工顺序、水电线路和临时设施的位置;
- 2 确定成孔和成桩机械、配套设备以及合理施工工艺的有关资料;
- 3 施工作业计划、管理人员及劳动力组织计划;
- 4 机械设备、备件、工具、材料供应计划;
- 5 夯扩挤密桩施工时,对安全、劳动保护、防火、防雨、

防台风、爆破作业、文物和环境保护等方面应按有关规定执行；

6 保证工程质量、安全生产、环境保护和季节性施工的技术措施。

5.1.4 施工时应根据设备的数量、类型和现场条件，在确保安全的前提下选用最佳流水作业线。

5.1.5 正式施工前，应根据设计要求和试桩资料，做工程的试验性施工，以调整设计、施工参数。

5.1.6 工程施工前，应测定桩体土、桩间土的最大干密度 ρ_{dmax} 和最优含水量 w_{op} 、可松性系数 k_s 。

5.2 材 料

5.2.1 所用土料宜采用黏性土、粉土，土料中有机质含量不得超过 5%，不得含有冻土和膨胀土，当含有碎石时，其粒径不宜大于 20mm，使用时应过不大于 20mm 的筛。所用土料中不得夹有砖、瓦和石块。

5.2.2 灰土中消石灰与土的体积配合比宜为 2:8 或 3:7。石灰应为新鲜的消石灰，质量等级不低于 III 级，石灰在掺混前应过筛，筛孔不大于 10mm。灰土拌和后宜于当日用于成桩。

5.2.3 对水泥土的强度无要求时，水泥与土的体积比可采用 1:5~1:8，对水泥土的强度有要求时，可通过配比试验确定水泥土的配比。水泥土混合料拌和后，宜在 2h 内用于成桩。水泥宜采用强度等级不小于 32.5MPa 的硅酸盐类水泥，进场水泥应具有出厂质量合格证，并按有关规定见证取样试验。夯实水泥土强度标

准值宜取 28d 龄期试块的无侧限抗压强度，夯实水泥土标准强度试验应符合本规程附录 A 的规定。

5.2.4 素土、灰土和水泥土中，混合料的施工含水量宜控制在最优含水量 $w_{op} \pm 2\%$ 的范围内。

5.2.5 孔内填料质量、配比、搅拌均匀性应符合设计标准，料场应设专人负责配料。当使用配料机搅拌时，搅拌时间不应少于 60s，当使用装载机拌和时，拌和次数不少于 6 次，当人工拌和时，次数不少于 3 次。

5.2.6 消石灰或水泥在储存和使用过程中要做好防潮、防雨、防冻措施，防止原材料淋湿、结块或冻结。

5.3 试 桩

5.3.1 在确定设计方案前，宜按建筑物安全等级和场地的复杂程度，选择有代表性的场地地段进行现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。

5.3.2 试桩应检验夯扩挤密桩成桩的可能性、可靠性和适宜性，为工程桩选型提供依据。

5.3.3 试桩应检验夯扩挤密桩消除湿陷性的处理效果。

5.3.4 如果对复合地基承载力有要求时，应验证复合地基承载力特征值。

5.3.5 试桩应验证桩径、桩长、桩间距等设计参数，确定布桩形式的合理性。

5.3.6 试桩应确定适宜的施工工艺和施工参数。

- 1 柱锤夯击成孔应确定设备型号、柱锤直径、锤重量等；
- 2 沉管成孔应确定柴油锤型号或振动锤型号、管及管靴直径、桩间形式等；
- 3 夯扩用锤直径、锤重量、吊高、每次填料量及夯击次数。

5.3.7 试桩应确定适宜的检测方法及需达到的标准，为施工检测提供依据。

5.4 成孔施工

5.4.1 成孔方法可采用柱锤冲击法、沉管法等不排土法成孔，成孔方法的选择应根据地基处理目的、场地条件和设计要求选择。其成孔直径和深度应满足设计要求。

柱锤冲击成孔宜采用直径 300~400mm，长度 3~4m、重量 20kN~40kN 的柱锤进行施工，柱锤直径不宜小于 $0.85d$ 。

沉管法成孔采用的钢管直径宜为 $d-20\text{mm}$ ，但其管靴直径不宜小于设计成孔直径 d 。

5.4.2 起重机具可用起重机、步履式夯扩桩机或其他专用机具设备。

5.4.3 场地应平整，设备应在场地内安全移动。成孔机械应保持垂直、稳定，垂直度偏差不应大于孔深的 1.5%。成孔中心偏差应满足相关规范要求并不宜超过桩距设计值的 5%。

5.4.4 桩顶设计标高以上的预留覆盖上层厚度应符合下列要求：

- 1 沉管（锤击、振动）成孔，宜为 0.5~1.0m；
- 2 柱锤冲击成孔，宜为 1.0~1.5m。

5.4.5 成孔时，地基土宜接近最优（或塑限）含水量，当土的含水量低于 12% 时，宜对拟处理范围内的土层进行增湿。

5.4.6 成孔施工顺序，当整片处理时，宜从外向内（或中间）间隔 1~2 孔进行，对大型工程，可采取分段施工；当局部处理时，宜先施工外圈桩，然后逐排向内施工。

5.4.7 桩锤必须有保护装置，防止出现撮锤、吊柱锤的钢丝绳折断等异常情况，可以利用保护装置钩锤，保证施工安全。

5.5 夯扩施工

5.5.1 夯击前应检查成孔直径、孔深、垂直度，孔内的虚土和积水情况等，并对孔底夯击至设计标高。检查有无空洞等异常情况，对不符合成孔质量标准的应重新进行施工。

5.5.2 夯扩成桩采用柱锤完成，柱锤直径宜为 300~400mm，长度宜为 3~4m，重量 20kN~40kN。

5.5.3 用标准料斗或运料车将拌和好的填料分层填入桩孔夯实成桩。每次填料量宜为 $0.06\sim 0.12\text{m}^3$ ，且厚度不宜超过 1.0m，夯扩成桩后，每层厚度不宜超过 20~30cm。

5.5.4 夯扩施工时，必须按照设计工艺规定的填料量、夯锤击数、最小夯击能、最小落距等要求施工。每次填料夯击数不少于 3 击，最小落距不小于 3.0m，单击最小夯击能不小于 $60\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

5.5.5 夯扩挤密桩作业时，柱锤应与桩孔中心对中，下落时呈自由落体状态，其深度允许偏差应为 $0\sim +500\text{mm}$ 。

5.5.6 施工时，当遇到缩径时，应采取措施消除缩径影响。如果

缩径段位于设计桩顶 3m 以下，可用碎石、卵石、碎砖头等材料夯填，如果缩径段位于设计桩顶下 3m 以内，则应使用干硬性混凝土等防水性材料夯填。

5.5.7 每个桩孔应夯填至桩顶设计标高以上不少于 0.5m，其上部桩孔宜用原槽土夯封。

5.6 褥垫层

5.6.1 在桩顶与基础之间应设置褥垫层，褥垫层厚度宜取 150～300mm，褥垫层材料应选用灰土、水泥土等。

5.6.2 褥垫层材料根据设计要求确定，当含有碎石时，其粒径不宜大于 20mm，使用时应过不大于 20mm 的筛。所用土料中不得夹有砖、瓦和石块、垃圾等杂物。

5.6.3 褥垫层铺设厚度要均匀，允许偏差 $\pm 20\text{mm}$ 。

5.6.4 褥垫层应宽出基础轮廓线 100～200mm。

5.6.5 褥垫层夯填度应不大于 0.90。

5.7 施工质量控制

5.7.1 施工过程中，应对工序、过程进行全面质量控制。

5.7.2 施工过程中，应设专人负责监测成孔质量、成桩质量，施工中应做好记录，并对发现的问题及时进行处理。夯扩挤密桩施工记录表见本规程附录 B。

5.7.3 施工过程中如果发现地基土与勘察资料不符时，应查明实际情况，并向监理和业主汇报，必要时与设计联系，采取有效处理措施，保证施工质量。

6 检测与验收

6.1 施工监理

6.1.1 夯扩挤密桩施工必须选择有经验和专业资质的监理单位进行监理。

6.1.2 工程监理应执行《建设工程监理规范》GB50319 规定的程序和相应条款。

6.1.3 项目监理人员必须参加建设单位组织的图纸会审或施工技术交底会,并由总监理工程师对交底会议纪要内容进行签认。

6.1.4 监理单位应编制详细监理方案,安排监理员旁站并记录。

6.1.5 监理工程师应对下列内容进行监理,并进行签认:

- 1 施工单位报送的施工组织设计或施工方案;
- 2 进场施工设备的型号、性能、数量及可靠性;
- 3 进场施工人员的组织机构及配备;
- 4 进场加固材料的规格、数量、合格证、检验报告;
- 5 现场施工平面布置;
- 6 测量放线工作;
- 7 工程施工质量,成孔、成桩各项技术参数;
- 8 施工过程中的职业健康安全和环境保护工作。

6.1.6 监理工程师应详细审查下列内容,并提出审查意见:

- 1 检查施工单位管理人员现场到位情况;
- 2 施工方案、施工工艺、质量控制及进度计划;
- 3 建筑物测量放线与桩位测放;

- 4 施工流程及打桩记录;
- 5 检查成孔深度、桩长、桩径, 配合比;
- 6 检查每次填料量、柱锤质量、夯击数、夯锤落距、总填料量;
- 7 检查施工单位技术资料的真实性、完整性、及时性并签认。

6.1.7 对施工中发现未按设计要求施工或存在其他违规问题, 应指令施工单位及时纠正或采取必要的措施。

6.1.8 监理工程师应对施工过程中的异常现象或怀疑有问题的桩予以记录, 并对该部分桩验证其施工质量。

6.1.9 施工过程中, 监理工程师应每周举行工程例会, 及时协调施工中的问题, 当必要时, 应组织专题会议, 解决施工过程中的各种专项问题。监理工程师应每周或每月对施工情况进行总结并编制监理周报或月报, 报业主和有关单位。

6.1.10 工程结束后, 监理工程师应根据具体的监理过程和复合地基检测结果对施工质量进行评价, 并向业主提交质量评估报告。

6.2 质量检验

6.2.1 由具有资质的检测单位, 根据设计要求, 按本规程及国家现行标准, 对桩体、桩间土和复合地基进行抽样检测, 并作出综合检测评定。

6.2.2 成桩后, 应对桩体夯实质量进行检查, 检查方法有检测桩体压实系数、 N_{10} 轻型动力触探试验、 $N_{63.5}$ 重型动力触探试验、 N_{120} 超重型动力触探试验, 对素土桩也可采用标准贯入试验。

1 采用环刀取样测定其干密度,质量标准可按平均压实系数 $\bar{\lambda}_c$ 评定,桩体平均压实系数 $\bar{\lambda}_c$ 不小于 0.96。

取样时间当桩体材料为灰土或素土时,宜在成桩后 14~21d 进行,当桩体材料为水泥土时,宜在桩施工完成 2h 内进行。

桩体的压实系数试验应符合本规程附录 C 的规定,桩体土干密度检验表见本规程附录 D。

2 采用轻型圆锥动力触探试验检测桩体夯实质量宜先进行现场试验,以确定具体要求。击数(N_{10})应符合表 6.2.2 的规定。检测时间应与本条 1 款相同。

表 6.2.2 夯扩挤密桩 N_{10} 击数控制表

桩体材料	素土	灰土	水泥土
击数(击/30cm)	≥ 25	≥ 30	≥ 40

3 对水泥土桩可采用重型动力或超重型动力触探试验检测,试验检测桩体夯实质量时宜先进行现场试验,以确定具体要求。检测时间 14~21d。

重型动力触探击数 $N_{63.5}$ 应大于 20 击/10cm,超重型动力触探击数(N_{120})应大于 11 击/10cm。

6.2.3 成桩后应对桩间土质量进行检查,检查方法包括检测桩间土湿陷性和最小挤密系数。检测时间宜为成桩后 14~28d。

1 桩间土的湿陷性可在现场挖探坑取样,采用室内湿陷试验测定黄土的湿陷系数。

2 采用环刀取样测定桩间土的最小挤密系数。
桩间土的挤密系数试验应符合本规程附录 C 的规定。

6.2.4 抽样检验的数量,对乙、丙类建筑物应不少于夯扩挤密桩

桩总数的 1%；对甲类建筑物应不少于桩总数的 1.5%。

6.2.5 夯扩挤密桩复合地基竣工验收时，承载力检验应采用复合地基静载荷试验。检验数量应不少于桩总数的 0.5%，且每项单体工程不应少于 3 点。

6.2.6 复合地基载荷试验要点和承载力特征值按《建筑地基处理技术规范》JGJ79 相关规定确定。

6.2.7 夯扩挤密桩质量控制标准应按表 6.2.7 执行。

表 6.2.7 夯扩挤密桩质量控制标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	桩径	mm	-20	用钢尺量
	2	桩长	不得小于设计值		测桩孔深度
	3	桩体夯实质量	设计要求		压实系数或 N_{10} 、 $N_{63.5}$ 、 N_{120} 触探试验
	4	地基承载力	设计要求		按规定的办法
	5	桩间土湿陷性	设计要求		按规定的办法
一般项目	1	桩间土挤密效果	设计要求		最小挤密系数试验
	2	土料有机质含量	%	≤ 5	焙烧法
	3	含水量（与最优含水量比）	%	± 2	烘干法
	4	土料粒径	mm	≤ 20	筛分法
	5	水泥质量（如有）	设计要求		查产品合格证书或抽样送检
	6	桩顶标高	mm	± 20	
	7	桩位偏差	满堂布桩 $\leq 0.40D$ 条基布桩 $\leq 0.25D$		用钢尺量， D 为桩径
	8	桩孔垂直度	%	≤ 1.5	用吊锤测钻杆、桩孔
	9	褥垫层夯填度	≤ 0.90		用钢尺量

注：1 夯填度指夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值。

2 桩径允许偏差负值是指个别断面。

6.3 工程验收

6.3.1 夯扩挤密桩工程验收，应按国家规定和河北省有关标准执行。

6.3.2 夯扩挤密桩工程验收时，应提交下列技术资料：

- 1 工程定点坐标、标高；
- 2 开工报告；
- 3 材料检验报告；
- 4 桩孔、成桩隐蔽工程验收记录；
- 5 经监理工程师签认的施工记录和原始技术资料；
- 6 工程质量检测报告；
- 7 设计变更通知书、事故处理记录（如果有）；
- 8 工程竣工图；
- 9 地基处理竣工报告；
- 10 其他有关施工资料。

6.3.3 验收结论。应按国家和河北省有关标准对夯扩挤密桩工程质量作出评定意见。质量等级可按合格、不合格两级划分。

附录 A 夯实水泥土标准强度试验要点

A.0.1 材料

1 土料采用工程原状土 20kg，塑料袋封闭包装，在试验室内过 5mm 筛备用。

2 水泥采用工程上的同品种、同生产厂、同等级，已经通过检验认定合格的水泥 10kg。

3 按设计配合比取土及水泥，混合后用小铲翻拌三次。

A.0.2 试样成型

1 仪器：土工试验用轻型击实仪的全套仪器及工具。

2 步骤：

1) 在击实筒内壁涂一薄层润滑油，将混合料分五层次倒入筒中，每层击 25 击，每层试样高度大致相等，上下两层交界处下层土面的上表应刨毛。击实后，超出击实筒顶的试样高度应小于 6mm。

2) 拆去护筒及底板，用刀修平击实筒顶部及底部的试样。

3) 用推土器将试样从筒中推出。

A.0.3 养护：自然养护 6h，将试样置入混凝土标准养护室，覆盖一层塑料薄膜，养护 28d。

A.0.4 压力试验

从标准养护室取出试验，自然环境下停置 4h，在小型万能试验机上进行压力试验，记录和计算每块试样的破坏强度。

A.0.5 标准强度

当 3 个试块的破坏强度的极差小于平均值的 30% 时，取其平均强度为标准强度；当超过 30% 时，取较小两值的平均值为标准强度。

附录 B 夯扩挤密桩施工记录表

工程名称:

施工单位:

成孔方式 钻机型号					填料类别 及比例				成孔 直径 (mm)				成桩 直径 (mm)			
地面标高 (m)					设计桩顶 标高 (m)				设计 桩长 (m)				分段填料厚 度 (m)			
夯锤重量 (t)					夯锤提升 高度 (m)				要求分段 夯击次数				填料最优含 水量 (%)			
序 号	桩 号	施 工 日 期	成孔 时间 (h: min)		夯填 时间 (h: min)		桩孔 深度 (m)	桩孔 垂直 度 (%)	填料 含水 量 (%)	填 料 总 夯 击 次 数	设计 填料量 (m³)	实际填 料量 (m³)	备 注			
			起 始	终 止	起 始	终 止										

记录: 机长: 质检员: 项目总工:

附录 C 桩体的压实系数和桩间土的挤密系数

试验要点

C.0.1 最大干密度和最优含水量试验材料

土料采用工程原状土 30kg 过 5mm 筛备用；

石灰采用工程用消石灰 10kg 过 5mm 筛备用（分为填料和桩间土两种）；

水泥采用工程用水泥 10kg 备用。

C.0.2 将备用的工程原状土、消石灰、水泥送到有资质试验室按工程桩体材料的实际配比配置材料进行桩体土击实试验，测定桩体土最大干密度和最优含水量。

C.0.3 对桩间土的工程原状土进行击实试验，测定桩间土最大干密度和最优含水量。

C.0.4 桩施工完成达到检测龄期后按要求部位使用环刀取样，取样后将环刀上、下表面削平，不足部分补平。

C.0.5 将所取环刀样放入烘箱内烘烤 24h 后取出，测出其控制干密度。

C.0.6 桩体压实系数 λ_c 为其控制干密度与桩体土最大干密度的比值。

C.0.7 桩间土最小挤密系数 η_{\min} 为其控制干密度与桩间土最大干密度的比值。

附录 D 桩体土干密度检验表

施工单位_____ 施工方法 _____

工程名称_____ 主要设备 _____

桩号	检 验 项 目								检验日期	评定结果
	桩位偏差 (mm)		孔径偏差 (mm)		孔 深 (m)		干密度 (g/m³)			
	允许	实测	允 许	实 测	允 许	实 测	允 许	实 测		
							</			

记录员_____ 质检员_____ 检验负责人_____

本规程用词说明

1 为便于在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“应按……执行”或“应符合……的要求(或规定)”。非必须按所指定的标准执行时，写法为“可参照……执行”。

引用标准名录

- 1 《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB50025
- 2 《建筑地基处理技术规范》 JGJ79
- 3 《建筑地基基础设计规范》 GB50007
- 4 《建设工程监理规范》 GB50319

河北省工程建设标准

湿陷性黄土地区夯扩挤密桩技术规程

DB 13 (J) /T138—2012

条文说明

目 次

1 总 则	35
3 基本规定	36
4 设 计	37
4.1 一般规定	37
4.2 桩的选型与布置	38
4.3 承载力计算	39
4.4 变形计算	40
5 施 工	41
5.1 施工准备	41
5.2 材 料	41
5.3 试 桩	42
5.4 成孔施工	43
5.5 夯扩施工	44
5.6 褥垫层	45
5.7 施工质量控制	46
6 检测与验收	47
6.1 施工监理	47
6.2 质量检验	48
6.3 工程验收	49

1 总 则

1.0.1 夯扩挤密桩法是在处理湿陷性黄土地基时采纳的一种新技术，已在河北省得到广泛应用，取得了良好的社会效益和经济效益。但是，该项技术在河北省还没有一个统一的技术标准作为设计、施工、监理、检验及工程验收的依据。为了推广应用该项技术有据可依，使设计做得更加合理，质量更加可靠，将该项技术的研究成果及实践经验进行总结，编制本规程。

1.0.2 夯扩挤密桩处理湿陷性黄土地基时，采用沉管桩机成孔、柱锤夯扩成孔和夯扩挤密成桩技术，以动力固结为手段，采用素土、无机结合料等为填料，达到节约材料，降低成本，节约耕地、保护生态环境，具有绿色工程技术效应的特征。对素填土、杂填土等地基处理时可参照本规程执行。

1.0.4 本规程与现行规范不一致的条文按本规程执行，本规程未做规定的按相关标准执行。

3 基本规定

3.0.1 本条文规定在进行夯扩挤密桩复合地基设计前需搜集的资料，这些资料是最基本的也是必备的。建（构）筑物总平面图可提供该建（构）物对周围环境的影响，也为施工的安排和平面布置提供了依据。

当勘察报告内容简单而不能满足设计要求时要进行补充勘察。了解本地区的地基处理经验，包括施工经验、复合地基检测资料和沉降观测资料，以便指导设计和施工。

3.0.5 基底下 5m 内的湿陷性黄土通常采用换填土（或灰土）或强夯等方法处理，大于 18m 的土层，一般采用其他方法处理，本条规定处理地基的深度宜为 5~18m，当采用沉管法成孔时，可加深到 20m，但工程施工难度加大，效力降低，因此本条规定处理地基的深度宜为 5~18m 基本上符合河北省的情况。

3.0.7 大量的试验研究资料和工程实践表明，夯扩挤密桩用于处理地下水位以上的湿陷性黄土地基，不论是消除土的湿陷性还是提高承载力都是有效的。但当土的含水量大于 24% 及其饱和度超过 65% 时，在成孔过程中，桩孔容易缩颈及桩周围易隆起，挤密效果差，故上述方法不适用于处理地下水位以下及毛细饱和带的土层。

饱和度小于 65% 的湿陷性黄土，其承载力较高，湿陷性较强，处理地基常以消除湿陷性为主。而素填土、杂填土的湿陷性一般较小，但其压缩性高、承载力低，故处理时常以降低压缩性、提高承载力为主。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 局部处理地基的宽度超出基础底面边缘一定范围，主要在于改善应力扩散，增强地基的稳定性，防止基底下被处理的土层，在基础荷载作用下受水浸湿时产生侧向挤出，并使处理与未处理接触面的土体保持稳定。

局部处理超出基础边缘的范围较小，通常只考虑消除拟处理土层的湿陷性，而未考虑防渗隔水作用。但只要处理宽度不小于本条规定，不论是非自重湿陷性黄土还是自重湿陷性黄土，采用夯扩挤密桩处理后，对防止侧向挤出、减小湿陷变形的效果都很明显。

整片处理的范围大，既可消除拟处理土层的湿陷性，又可防止水从侧向渗入未处理的下部土层引起湿陷，故整片处理兼有防渗隔水作用。

4.1.2 本条对夯扩挤密桩处理地基的深度作了原则性规定，具体深度由设计根据现场土质情况、建筑物类型和设计要求等确定。

当以消除地基土的湿陷性为主要目的时，在非自重湿陷性黄土场地，宜将附加应力与土的饱和自重应力之和大于湿陷起始压力的全部土层进行处理，或处理至地基压缩层的下限截止；在自重湿陷性黄土场地，宜处理至非湿陷性黄土层顶面止。

当以降低土的压缩性、提高地基承载力为主要目的时，宜对基底下压缩层范围内压缩系数 a 大于 0.40MPa^{-1} 或压缩模量小于

6MPa 的土层进行处理。

4.1.3~4.1.5 本条文参考了《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025 中的相关规定。当处理深度较小时可采用换填或强夯法处理。

4.2 桩的选型与布置

4.2.1 根据现有设备，成孔直径多为 300~450mm；成桩过程中经过夯击扩孔，桩径可达到 450~600mm。

4.2.2 夯扩挤密桩处理黄土湿陷性应采用非取土法，以保证挤密效果。当处理深度较大时，成孔确有困难时可使用预钻孔进行处理。对于采用预钻孔进行处理的地基，宜通过试验确定地基处理的效果。

4.2.3 为帮助人们正确、合理、经济地选用孔内填料，增加了如何选用孔内填料的条文规定。

当为消除黄土的湿陷性而处理地基时，桩孔内用素土（黏性土、粉质黏土）作填料，可满足工程要求，当同时要求提高其承载力或水稳性时，桩孔内用灰土或水泥土作填料较合适。

桩体材料除素土、灰土、水泥土外，尚可就地取材，使用三合土等隔水性材料，但必须通过试验确定适用性。

4.2.4 桩孔之间的中心距离取值可按本条公式（4.2.4）进行估算，本公式只适用非挤土桩，而对采用预钻孔的黄土地基不适用。

4.2.5 大量试验研究资料以及河北建设勘察研究院有限公司在朔州市格瑞特实业有限公司 2×135MW 煤矸石综合利用发电项目和大同煤矿集团塔山 2×600MW 坑口电厂工程经验表明，单桩桩周土体可分为“充分挤密区（距离桩心约为 0.5~0.75D）”、“有效挤密区（距离桩心约为 0.75~1.25D）”、“挤密影响区（距离桩心约

为 $1.25\sim 1.5D$)”和“非挤密区 (距离桩心 $>1.5D$)”四个区域。因此消除桩间土的湿陷性,桩间距通常为桩体直径的 2.5 倍,因此宜符合表 4.2.5 要求。

4.2.6 夯扩挤密桩复合地基的质量控制关键点之一是桩体质量是否密实,由于桩体是用松散状态的素土 (黏性土或黏质粉土)、灰土、水泥土经夯实而成,桩体的夯实质量可用土的干密度表示,土的干密度大,说明夯实质量好,反之,则差。

4.2.7 此条与 4.2.6 条类似,桩孔之间土夯实质量可用的最小挤密系数表示,桩间土的最小挤密系数大,说明夯实质量好,反之,则差。

4.3 承载力计算

4.3.1 为确定夯扩挤密桩的桩数及其桩长 (或处理深度),设计时往往需要了解采用夯扩挤密桩处理地基的承载力,而原位测试 (包括载荷试验、静力触探、动力触探) 结果比较可靠。

用载荷试验可测定单桩和桩间土的承载力,也可测定单桩复合地基或多桩复合地基的承载力。当不用载荷试验时,桩间土的承载力可采用标准贯入试验或静力触探测定。

灰土或水泥土填孔的桩体,不宜采用标准贯入试验或静力触探测定桩体质量,但可采用动力触探测定。

4.3.2 单桩承载力特征值应通过现场试验确定。复合地基承载力特征值的计算主要参考国家现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的有关规定。同时综合考虑夯扩挤密桩施工工艺的特点,桩间土以及桩端持力层地基承载力较勘察报告给出的数值有所提高。地基承载力的提高,与施工工艺、单位夯击能量、地基

土的土性和填料等因素有关。

4.3.3 复合地基中的夯扩挤密桩一般属于摩擦桩，以桩周土提供的摩阻力为主，桩端阻力只相当于单桩承载力的一小部分。但只要条件允许，都不希望桩端坐落在土质差的土层上。当桩端下存在软弱下卧层则应进行下卧层承载力和持力层厚度验算。这是《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定，也是复合地基设计的重要内容。

4.3.4 本条文参考了《建筑地基处理技术规范》JGJ79 中的第 3.0.4 条规定。

4.4 变形计算

4.4.2 建筑物处理后的地基变形计算值，不应大于地基变形允许值，这是强制性条文。建筑物的地基变形允许值应按《建筑地基基础设计规范》GB50007 的表 5.3.4 执行。

4.4.5 夯扩挤密桩复合地基的变形由复合土层的变形和桩端以下土层变形两部分组成。本规程仍采用分层总和法，按《建筑地基基础设计规范》GB50007 的有关规定执行。

复合土的压缩模量的计算，采用荷载试验沉降曲线类比法。当加固土层由多层土构成时， E_{sp} 取多层土的加权平均值。当桩端以下为若干土层时，借用分层总和法计算复合土层下影响深度内各层土的变形， P'_0 采用应力扩散法或等效实体法计算。

4.4.7 本条文参考了《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025 中的相关规定。

5 施 工

5.1 施工准备

5.1.1 场地岩土工程勘察报告是地基处理设计方案与施工的依据。当场地地质情况比较复杂时，应做必要的补充勘察，以便为调整布桩设计提供依据。

为防止发生意外事故，必须事前查清地上、地下管线及障碍物，并予以妥善处理。

5.1.2 施工前的准备非常重要，是实施地基处理方案的重要环节，应具备必要的现场施工条件。

为了确保施工顺利和安全，施工现场必须平整稳定，地上、地下以及空中范围内，必须消除有碍施工设备运转的洞穴、土坑、土堆、架空线、管线等障碍物。

5.1.4 夯扩挤密桩施工应根据现场设备的数量、场地条件等，制定最佳作业流水线保证施工安全。

5.1.5 工程正式开工时，应根据设计要求、设备选型、工艺标准和地基土层特征，先做工程设计检验的试验性施工，经设计认可后方可正式施工。

5.1.6 当桩体土与桩间土不同时，应分别测定桩体土和桩间土的最大干密度和最优含水量，当使用现场开挖的同类土作为填料时，其最大干密度和最优含水量相同。

5.2 材 料

5.2.1 土料中的有机质含量、冻土和膨胀土等都是有害因素，应

严格控制。

5.2.2 为防止填入桩孔内的灰土吸水后产生膨胀，不得使用生石灰与土拌和，而应用消解后的石灰与黄土或其他黏性土拌和，石灰富含钙离子，与土混合后产生离子交换作用，在较短时间内便成为凝硬性材料，因此拌和后的灰土放置时间不可太长，并宜于当日用于成桩。

5.2.3 水泥是水泥土混合料的主要材料，其强度、安定性是影响桩身质量的主要因素，因此应对其按规定进行复检，合格后方可使用。水泥遇水即产生化学反应，因此配制时间超过 2h 的水泥土混合料不宜使用。

5.2.4 土料、混合料含水量是决定桩体夯实密度的重要因素，实施时应严格控制，因使用机械夯实，夯实功大，土料、混合料最佳含水量为 $w_{op}-(1\sim2)\%$ ，具体施工时由现场试验确定。

在现场可按“一攥成团，一捏即散”的原则对混合料进行鉴别。

5.2.5 桩体填料必须满足设计要求。对掺有活性材料的填料应由专人进行监督配制。材料配制、搅拌可由装载机或配料机进行拌和，也可由人工拌和。

5.3 试 桩

5.3.1 对于重要工程或缺乏经验的地区，都需要选择有代表性的场地进行现场试验或试验性施工，这是国家强制的条文，适用于任何一种地基处理方法的规定，夯扩挤密桩复合地基更不能例外。如土性基本相同，试验可在一处进行，如土性差异明显，应在不同地段分别进行试验。

5.3.3 测定黄土湿陷性的试验，可分为室内压缩试验、现场静载荷试验和现场试坑浸水试验三种，可测定黄土的湿陷系数 δ_s 、自重湿陷系数 δ_{zs} 、湿陷起始压力 p_{sh} 和自重湿陷量。具体检测项目可参考《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025 的相关规定。

5.3.5 实际桩径可按下式进行计算：

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi k_s h}} \quad (1)$$

式中： V ——填料量 (m^3)；

h ——桩长 (m)；

k_s ——可松性系数，拌和后的土的体积与经夯实后的体积的比值。

5.3.7 黄土湿陷性、复合地基承载力、桩体质量及桩间土的检验项目和检测方法应符合本规程 6.2.2~6.2.6 条的规定。

5.4 成孔施工

5.4.1 柱锤可用钢材制作或用钢管为外壳内部浇铸铁制成。成孔用的柱锤底部宜内凹，可减小撮锤阻力。

5.4.2 升降柱锤的设备可选用 10~30t 起重机或其他专用设备，起重能力应通过计算（按锤质量及成孔时土层对柱锤的吸附力）或现场试验确定，一般不应小于锤质量的 3~5 倍。

5.4.3 为了充分发挥柱锤成孔设备的功能，保证工程质量、设备正常运转和人身安全，起吊机械运行时必须保持平稳，且地基土承载力不应低于 120kPa 方可施工。严禁在高低不平及未碾压的松

软土上施工。

5.4.4 本条文参考了《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的相关规定。

5.4.5 增湿土的加水量可按式估算：

$$Q = v \bar{\rho}_d (w_{op} - \bar{w}) k \quad (2)$$

式中： Q ——计算加水量 (m^3)；

v ——拟加固土的总体积 (m^3)；

$\bar{\rho}_d$ ——地基处理前土的平均干密度 (t/m^3)；

w_{op} ——土的最优含水量 (%)，通过室内击实试验求得；

\bar{w} ——地基处理前土的平均含水量 (%)；

k ——损耗系数，可取 1.05~1.10。

应于地基处理前 4~6d，将需增湿的水通过一定数量和一定深度的渗水孔，均匀地浸入拟处理范围内的土层中。

5.4.7 柱锤成孔施工时，易出现撮锤现象，因此设置安全装置是必要的。夯扩成桩施工时也应执行本条规定。

5.5 夯扩施工

5.5.1 夯击前必须按成孔质量标准要求对已成孔的直径、垂直度、标高、孔内的虚土以及有无积水等进行检查，凡不符合成孔质量标准者，均须进行处理。如出现未达到设计标高的情况，应在孔内达到两锤夯击高差不大于 150mm 时，方可进行填料夯扩施工。

对沉管法成孔至设计深度后在填料前，宜将孔底夯实，当孔

底土含水量较高时，可在孔内填少量碎石、卵石或干硬性混凝土夯击，直到孔底被夯密实。

5.5.4 在孔内填料夯击过程中，必须按照设计工艺规定的填料量、击数以及最小夯击能、最小落距等要求施工，它是保证质量的重要环节，必须严格遵守。未经设计、监理批准，任何人不得修改。

5.5.5 桩体夯实过程中必须检查柱锤是否与桩孔对中，是否呈自由落体状态，否则严禁填料夯击。

5.5.6 夯扩挤密桩成桩过程中，克服缩径是很重要的一个环节，如在实施中不能克服这一难题，将无法达到设计要求。因此，必须处理后方可施工，实施时必须保证上部有一定的隔水层，从而保证处理效果。

5.5.7 要求夯填至桩顶设计标高以上，主要是为了保证桩顶密实度。当不能满足上述要求时，应进行夯实或采用局部换填处理。

5.6 褥垫层

5.6.1 褥垫层的设置是夯扩挤密桩复合地基的关键点，是保证桩、土共同作用的核心内容。根据大量的工程实践总结，褥垫层厚度取 150~300mm 为宜。当桩距较大或桩间土较软，为了充分发挥桩间土的作用，褥垫层的厚度取大值，反之取小值。褥垫层所用材料不宜选用散体材料。

5.6.2 因褥垫层厚度较小，不容易密实均匀，褥垫层所用材料粒径不应含有粒径大于 20mm 的碎石。

5.6.5 褥垫层铺设要求夯填度小于 0.90，主要是为了减少施工期

地基的变形量。

5.7 施工质量控制

5.7.1 夯扩挤密桩属地下隐蔽工程，施工质量受人为因素影响较大，一旦成桩出现问题，其事后处理较为困难，因此每道工序、每个操作环节都必须加强质量意识，施工中保证施工质量。

6 检测与验收

6.1 施工监理

6.1.1~6.1.2 复合地基施工属隐蔽工程，应选择有资质和有专业经验的监理公司进行监理，以确保工程质量。

6.1.3 项目监理人员通过技术交底会，掌握地基处理的工艺、施工方法、过程以及各项技术指标，以便达到有的放矢。

6.1.4 施工组织设计或施工方案具体反映了施工单位的施工组织、施工方法以及各项环节的保证措施。质量控制、进场设备、人员、材料等能否满足工程的需要，因此监理工程师应予严格监理。施工组织设计或方案经审批后即为地基处理施工的指导文件，不得随意变更。

6.1.5 对桩位测放、施工流程、质量控制以及施工进度等进行监理，确保施工质量。对施工打桩记录中的桩长、桩径、材料、配合比以及每根桩的水泥或灰土（如有）掺入量、总量进行监理。这些数据都可以反映单桩和整个工程的施工质量，监理工程师应予复核，必要时应旁站监理。

6.1.6 施工原始记录主要反映了施工单位对施工组织设计或施工方案的执行情况。如柱锤提升高度、柱锤夯击次数、填料数量等，这些数据都可以反映施工质量，监理工程师应予复核，并进行必要的旁站监理。

6.1.7 当施工过程中发现未按设计要求施工或异常情况时，应指令纠

正或提出处理意见，并责成施工单位拿出具体的措施，经审批后进行处理。

6.1.8 工程例会或专题会议是解决问题和沟通问题的最佳场所。监理工程师应予以充分利用，通过工程例会对工程进度、施工质量和安全等情况进行了解和控制。

6.2 质量检验

6.2.1 根据设计要求，按本规程和国家现行标准对桩体压实系数、桩间土的湿陷系数和挤密系数、复合地基承载力、压缩模量、变形模量以及复合地基的均匀性等作出综合检测评定。

6.2.2 桩体的夯实质量一般通过测定全部深度内土的干密度确定，然后将其换算为平均压实系数进行评定。桩体土的干密度取样：自设计桩顶向下 0.5m 起，每米取样 1 点，取样位置为桩孔内距桩孔边缘 $\geq 50\text{mm}$ 处，当桩长大于 6m 时，全部深度内的取样点每米不应少于 1 点，当桩长不足 6m 时，全部深度内的取样点不应少于 6 点。

桩体土的平均压实系数 $\bar{\lambda}_c$ 是根据桩孔全部深度内的平均干密度与其最大干密度的比值，即 $\bar{\lambda}_c = \bar{\rho}_{d0} / \rho_{d\max}$ 。

6.2.3 桩间土的夯实质量一般通过测定全部深度内土的最小挤密系数评定。三个桩孔之间形心点部位土的干密度取样：自设计桩顶标高向下，每米取样不应少于 1 点，测其干密度，从而求得桩间土的最小挤密系数。

6.3 工程验收

6.3.1~6.3.3 复合地基施工结束，施工单位提供竣工资料后，应由业主组织有关单位对工程进行验收，验收确认后，应签署《工程中间验收记录》，作为施工转序的证明。

