

中国工程建设标准化协会标准

孔内深层强夯法技术规程

Technical specification for down-hole dynamic  
compaction

**CECS 197 : 2006**

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4月1日

中国计划出版社

2006 北京

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会(2000)建标协字第 36 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2000 年第二批推荐性标准制、修订计划的通知》的要求,制定本规程。

本规程的内容包括:总则,术语、符号,基本规定,设计,施工,检测与验收等。

本规程涉及专利技术问题,应按国家有关规定与有效专利技术持有人协商解决(北京瑞力通地基基础工程有限责任公司地址:北京市槐柏树街市府大院 3<sup>#</sup>楼,邮政编码:100053,联系电话:010-63165853)。

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》要求,现批准发布协会标准《孔内深层强夯法技术规程》,编号为 CECS 197:2006,推荐工程建设设计、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及岩土工程研究所(地址:北京市西直门外北京交通大学隧道及岩土工程研究所,邮政编码:100044,联系电话:010-51688117)负责解释。在使用中如发现有需要修改或补充之处,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:** 北京瑞力通地基基础工程有限责任公司

中国建筑科学研究院

北京城建设计研究总院有限责任公司

西北综合勘察设计院

中国石化集团建筑设计技术中心站

国贸工程设计院(北京)  
北京司炳文技术开发研究所  
中国建筑西北设计院  
中国西北电力设计院  
甘肃省建筑科学研究院

**主要起草人：**唐业清 司炳文 林在贯 钟 亮 沈励操  
汪国烈 杨桂芹 崔江余 强 喻 许 丽  
司 安

中国工程建设标准化协会  
2006年3月21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	设 计 .....	( 5 )
4.1	一般规定 .....	( 5 )
4.2	承载力特征值 .....	( 7 )
5	施 工 .....	( 10 )
5.1	施工准备 .....	( 10 )
5.2	机械成孔 .....	( 10 )
5.3	强夯作业 .....	( 11 )
6	检测与验收 .....	( 12 )
6.1	自检 .....	( 12 )
6.2	检测 .....	( 12 )
6.3	验收 .....	( 13 )
	附录 A 孔内深层强夯法施工检查验收表 .....	( 14 )
	附录 B 复合地基载荷试验要点和承载力特征值的确定 .....	( 15 )
	本规程用词说明 .....	( 17 )
	附:条文说明 .....	( 19 )

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在孔内深层强夯法处理地基时贯彻国家技术、经济、环保政策,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** 采用本规程时,应根据场地条件、工程特点、使用要求、材料供应情况、施工条件等因素做到因地制宜、就地取材,保护环境、精心设计、精心施工。

**1.0.3** 本规程适用于建(构)筑物、铁路、公路、机场、港口等工程的地基处理,并可用于无机无毒固体垃圾的消纳处理。

**1.0.4** 采用孔内深层强夯法处理地基时,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、符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 孔内深层强夯法 down-hole dynamic compaction

一种深层地基处理方法。该方法先成孔至预定深度,然后自下而上分层填料强夯或边填料边强夯,形成高承载力的密实桩体和强力挤密的桩间土(以下简称 DDC 法)。

#### 2.1.2 渣土桩复合地基 composite subgrade of slag-soil pile

用建筑垃圾、杂土、素土、石料、灰土、无毒工业废料及它们的混合物等为填料,以 DDC 法形成具有较高承载力的复合地基。

#### 2.1.3 串珠状桩 beading pile

由下至上形成串珠状的桩体。

#### 2.1.4 扩底桩 under-reamed pile

在底部形成扩大头的桩体。

#### 2.1.5 地基处理深度 depth of ground treatment

地基处理设计顶面标高至处理后有效影响深度的距离。

#### 2.1.6 成孔深度 hole depth

地基处理场地顶面标高至成孔底部的距离。

### 2.2 符 号

$A_b$ ——串珠宽于桩体的部分底面积的水平投影;

$A_m$ ——桩端(扩大头)水平投影面积;

$A_{Fb}$ ——桩串珠周围侧表面积;

$A_{Fm}$ ——主桩按土层分段的桩周表面积;

$A_{pm}$ ——桩身平均横截面面积;

$d$ ——夯后桩身平均直径或成孔直径;

- $d_e$ ——单桩挤密影响圆的直径；
- $E_{sp}$ ——复合地基的压缩模量；
- $E_s$ ——桩间土的压缩模量；
- $E_0$ ——地基变形模量；
- $f_{spk}$ ——复合地基承载力特征值；
- $f_{pk}$ ——桩体单位截面积承载力特征值；
- $f_{sk}$ ——桩间土的承载力特征值；
- $f_{cu}$ ——桩体试块抗压强度平均值；
- $m$ ——面积置换率,  $m = d^2 / d_e^2$ ；
- $n$ ——桩土应力比；
- $q_{pm}$ ——主桩端(扩大头)持力层的端阻力特征值；
- $q_{sm}$ ——主桩侧的摩阻力特征值；
- $q_{pb}$ ——桩串珠底端土的端阻力特征值；
- $q_{sb}$ ——桩串珠周围土的侧阻力特征值；
- $R_a$ ——单桩竖向承载力特征值；
- $R_m$ ——主桩(包括桩端扩大头)竖向承载力特征值；
- $R_b$ ——串珠状桩的竖向承载力特征值。

### 3 基本规定

- 3.0.1 DDC 法适用于素填土、杂填土、砂土、粉土、粘性土、湿陷性黄土、淤泥质土等地基的处理。
- 3.0.2 DDC 法处理地基应采用素土、砂土、碎石、建筑固体垃圾、工业废料、灰土、混凝土以及其他的非腐蚀性混合物,对地下水无污染的材料作为桩体填料。
- 3.0.3 DDC 法处理地基的设计,应根据工程类别、场地条件、周边环境 and 上部结构设计对地基处理的深度、承载力、沉降变形等要求,比选确定。
- 3.0.4 DDC 法处理地基应根据地基处理设计方案进行工程试桩,调整和确定设计、施工参数。
- 3.0.5 DDC 法处理的地基应遵照本规程和国家现行有关标准的规定进行检测和验收。



## 4 设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 设计前应具备下列资料和条件：

- 1 场地岩土工程勘察报告；
- 2 拟建工程的结构类型、荷载大小和使用要求；
- 3 周边既有的地上、地下建(构)筑物的状况；
- 4 地基处理后要求达到的各项技术指标。

4.1.2 根据场地的工程性质、环境条件,可选用钻孔、掏孔或重锤夯击成孔。

4.1.3 孔内深层强夯的桩端宜置于性状较好的土层上。当有软弱下卧层时,应经过验算来确定地基处理深度。

4.1.4 DDC法处理地基深度不宜大于30m。处理后的复合地基承载力特征值不宜大于600kPa。

4.1.5 整片地基处理宽度应根据地基处理深度、地基岩土特性和建筑物的特征而定。自基础侧边外延宽度可采用地基处理深度的1/3,当桩体填料为活性胶结性材料时,可适当减少或不外延。

4.1.6 桩顶与基础之间应设置褥垫层。褥垫层厚度应为150~300mm,材料可选用碎石、中粗砂或灰土垫层。

4.1.7 桩间距应根据设计要求确定。常用的成孔方法、孔径、中心距应按表4.1.7确定。

表 4.1.7 成孔方法、孔径、中心距

成孔方法	成孔直径(mm)	中心距(mm)	夯后桩径(mm)
机械钻孔、掏孔	400~1500	2.0~3.0d	550~2000

续表 4.1.7

成孔方法		成孔直径(mm)	中心距(mm)	夯后桩径(mm)
冲击 成孔 夯锤重(t)	2~5t	500~1000	2.0~3.5d	600~1500
	5~10t	1000~1400	2.0~3.5d	1500~2000
	10~20t	1400~2000	2.0~3.5d	2000~3000

注:  $d$ ——成孔直径。

**4.1.8** 桩孔内的填料应根据地基处理的目的和要求选用便于取得的材料。桩体质量应根据其强度采用动力触探或压实系数控制。当为素土或灰土桩时,压实系数不应小于 0.95。触探击数按勘察规范评定。

**4.1.9** 桩孔内填料、最优含水量应通过试验确定,也可按当地经验确定。填料的粒径、配比可参照表 4.1.9 确定。

表 4.1.9 填料的粒径、配比

桩型	填料	填料粒径	配比
素土桩	黄土、粉土、砂土、 粘土、杂土	$\leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5})$ 成孔直径	单组分、双组分 或多组分的 混合桩体
礅土桩	土、碎砖瓦、砂、石料、 混凝土块、无害的工业废料 及其混合物	$\leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{3})$ 成孔直径	单组分、双组分 或多组分的 混合桩体
碎石桩	碎石、石屑	$\leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5})$ 成孔直径	碎石或 碎石夹石屑
灰土桩	石灰、土	灰: $\leq 10 \sim 20\text{mm}$ 土: $\leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{8})$ 成孔直径	2:8, 3:7
生石灰桩	生石灰块、粉煤灰	$\leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{4})$ 成孔直径	6:4, 7:3
三合土桩	灰、土、礅土	$\leq \frac{1}{8}$ 成孔直径	1:1.5
粉煤灰桩	粉煤灰或粉灰、土		1:3
水泥土桩	水泥、土		1:2~4

注:1 表中填料的有机物含量不应超过 10%;

2 对于细粒土的含水量应由最优含水量控制。

4.1.10 采用DDC法施工的复合地基承载力特征值和变形模量,应根据建筑物的重要性采用现场原位测试确定。方案设计阶段可按经验公式估算。

4.1.11 串珠状桩体或有扩底桩体的单桩竖向承载力特征值,应由静载荷试验确定。初步设计时可按扩底和串珠位置的相应土层物理力学性能指标估算。

## 4.2 承载力特征值

4.2.1 单桩竖向承载力特征值 $R_a$ 由主桩(包括桩端扩大头)竖向承载力特征值 $R_m$ 和串珠状桩的竖向承载力特征值 $R_b$ 组成,按下式计算:

$$R_a = (R_m + R_b) \geq Q_k \quad (4.2.1-1)$$

$$R_m = q_{pm} A_m + \sum q_{sim} A_{Fm} \quad (4.2.1-2)$$

$$R_b = \sum q_{pb} A_b + \sum q_{sib} A_{Fb} \quad (4.2.1-3)$$

式中  $Q_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,单桩所受轴向压力(kPa);

$q_{pm}$ ——主桩端(扩大头)持力层的端阻力特征值(kPa),宜取地质勘察报告提供值的1.5倍,如属人工持力层应根据测试数据而定;

$A_m$ ——桩端(扩大头)水平投影面积( $m^2$ );

$q_{sim}$ ——主桩侧的摩阻力特征值(kPa)。除淤泥、饱水性粘土、淤泥质土外,宜取地质勘察报告提供值的2.0~2.5倍;

$A_{Fm}$ ——主桩按土层分段的桩周表面积( $m^2$ );

$q_{pb}$ ——桩串珠底端土的端阻力特征值(kPa);

$A_b$ ——串珠宽于桩体的部分底面积的水平投影( $m^2$ );

$q_{sib}$ ——桩串珠周围土的侧阻力特征值(kPa),同 $q_{sim}$ 取值;

$A_{Fb}$ ——桩串珠周围侧表面积( $m^2$ )。

4.2.2 桩体轴心受压承载力应满足下式要求:

$$Q \leq \varphi_c f_{cu} A_{pm} \quad (4.2.2-1)$$

$$\frac{Q}{1.35} = Q_k \quad (4.2.2-2)$$

式中  $Q$ ——相应于荷载效应基本组合时,单桩所受轴向压力设计值(kN);

$f_{cu}$ ——桩体试块抗压强度设计值(kPa);

$\varphi_c$ ——系数,取 0.6~0.7;

$A_{pm}$ ——桩身平均横截面面积(m<sup>2</sup>)。

**4.2.3 复合地基承载力特征值应按下式计算:**

$$f_{spk} = m f_{pk} + (1-m) f_{sk} \quad (4.2.3-1)$$

$$m = d^2 / d_e^2 \quad (4.2.3-2)$$

式中  $f_{spk}$ ——复合地基承载力特征值(kPa);

$m$ ——桩土面积置换率;

$d$ ——夯后桩身平均直径(m);

$d_e$ ——一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径(m)。

等边三角形布桩  $d_e = 1.05s$ , 正方形布桩  $d_e = 1.13s$ ,  $s$  为桩间距(m);

$f_{pk}$ ——处理后桩体单位截面积承载力特征值(kPa);

$f_{sk}$ ——桩间土的承载力特征值(kPa)。当场地土质为黄土、非饱和性粉土和砂土时,宜按 1.5~2.5 倍天然地基承载力特征值取值;对淤泥、淤泥质土按经验确定。

**4.2.4 复合地基沉降变形应按下列规定计算:**

1 复合地基的沉降变形应按国家现行有关标准的规定计算;

2 复合地基的压缩模量  $E_{sp}$  可按下式估算:

$$E_{sp} = [1 + m(n-1)] E_s \quad (4.2.4)$$

式中  $E_s$ ——桩间土的压缩模量(MPa)。可通过现场试验或室内试验取值;

$n$ ——桩土应力比。在无实测资料时,对于粘性土可取

2~4,对于粉土和砂土可取 1.5~3,桩间土承载力高时  $n$  取小值,反之取大值。

3 复合地基变形模量可根据现场平板载荷试验计算确定,其中复合地基泊松比取 0.33,碴土桩取 0.27,桩间土取 0.35。

4.2.5 在地基处理土层以下如有软弱下卧层,且在地基受力层范围之内时,应进行软弱下卧层验算。验算时可按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的有关规定执行。

## 5 施 工

### 5.1 施工准备

- 5.1.1 采用 DDC 法处理地基的施工人员必须经专利技术的培训,方可进入该技术的实施。
- 5.1.2 DDC 法施工前应熟悉场地工程地质和水文地质勘察报告内容;查清地下管网、古墓、洞穴等;了解周边建筑物状况以及采用 DDC 法处理地基的设计图纸和编制施工组织设计等。
- 5.1.3 施工场区应平整压实,地上、地下不得有阻碍施工的结构物、管线等。
- 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 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。材料配比、搅拌可由装载机进行拌和。
- 5.1.6 正式施工前,应根据设计要求,做工程的试验性施工,以调整设计、施工参数。

### 5.2 机械成孔

- 5.2.1 成孔方法应根据土质条件而定。宜选用钻孔、掏孔方法。当场地土为含块石松散土层时,可采用冲击成孔或机械挖孔,对于冲击困难的特殊土层,也可改为机械挖孔或以两锤落距不大于 150mm 的方法控制成孔深度。
- 5.2.2 场地应平整,承载力不应低于 120kPa。成孔机械应保持垂直稳定,垂直度偏差不应大于孔深的 2.5%。成孔中心偏差不应超过桩径的 1/4。
- 5.2.3 成孔深度应满足设计要求。根据土质情况也可在孔底预

留一定厚度的原土层,以重锤夯冲至地基处理设计深度,强夯桩底影响深度应为1~2m。根据设计要求,可在孔底做一人工持力层或扩大头。

### 5.3 强夯作业

**5.3.1** 强夯前应检查成孔直径、孔深、垂直度,孔内的虚土和积水情况等,并对孔底强夯至设计标高。检查有无空洞等异常情况,对不符合成孔质量标准的应进行补强加固处理。

**5.3.2** DDC法施工过程中,应按规定的填料标准、质量、数量、夯锤击数和落距等有关设计参数进行作业。

**5.3.3** DDC法作业时,强夯重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 $\pm 500\text{mm}$ 。

**5.3.4** DDC法施工时,当遇到缩孔时,可用硬骨料夯填消除塌孔影响。

**5.3.5** DDC法施工时,桩顶应高出设计标高500~1000mm,当按设计要求挖凿至设计标高,填完褥垫层后,应对场地实施低能量满夯一遍。

**5.3.6** 施工中发现异常应及时报告,会同有关单位查明原因及时处理。

## 6 检测与验收

### 6.1 自 检

6.1.1 采用 DDC 法施工的工程,在施工全过程中应执行逐桩施工,逐桩验收的自检评定制度。

6.1.2 自检应包括测量放线、隐蔽工程检查、验收;桩、复合地基、桩间土检测验收等内容。

6.1.3 基槽开挖后应根据设计图纸,对桩位、桩径、桩数、标高、桩顶质量和桩间土进行统计、检查、验收。

6.1.4 对质量有疑问的桩,应采用有效的原位测试方法进行检测。当有漏桩、桩位偏差过大、桩头及槽底等未达到设计要求时,应根据其位置、数量等具体情况,采取相应的补救措施。

6.1.5 应做好施工检查验收记录,检查验收表见附录 A。

### 6.2 检 测

6.2.1 由具有国家资质的检测单位,根据设计要求、工艺标准,按本规程及国家现行标准,对桩、桩间土和复合地基进行抽样检测。对桩、复合地基承载力、压缩模量、变形模量,消除液化和湿陷性等作出综合检测评定。

6.2.2 应根据工程类别和地基处理的设计要求,宜采用低、高应变动测和静载荷试验相结合的方法进行检测,检测时应符合下列要求:

1 静载荷试验检测数量应为总桩数的 0.5%~1%,单体工程不应少于 3 个;

2 动力触探等原位测试,检测数量应为总桩数的 0.5%~1%,单体工程不应少于 6 个;



3 土的物理力学性质试验取样应为总桩数的 0.3%~1%，每个试验层不应少于 6 组；

4 对于甲类工程必须做本条第 1、2、3 款的测试，乙类工程可做本条第 1、3 款的测试或第 2、3 款的测试。

6.2.3 桩、桩间土检测龄期宜为成桩后 14~28d。碴土桩、素土桩为 14d；混凝土桩及活性材料桩为 28d。

6.2.4 复合地基载荷试验要点和承载力特征值按附录 B 确定。

6.2.5 基桩载荷试验要点和承载力特征值按国家现行有关标准确定。

6.2.6 地基的承载力、均匀性和湿陷性、液化性、膨胀性的消除程度等应按国家现行有关标准的规定，采用两种以上的检测方法进行综合评定。

### 6.3 验 收

6.3.1 工程应由监理单位组织验收。

6.3.2 工程竣工验收必须提交下列文件：

- 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 自检报告；
- 6 工程质量检测报告；
- 7 竣工图；
- 8 其他有关施工资料。

## 附录 A 孔内深层强夯法施工检查验收表

工程名称：                      机长：                      机手：                      机号：

序号	桩号	处理深度 (m)	填料数量 (m <sup>3</sup> )	成桩工艺	机手	质检员	备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
填料类别		成孔直径		成桩平均直径			
项目经理		技术负责人		监理代表			

施工单位：

建设单位：

施工日期：     年   月   日

监理单位：

## 附录 B 复合地基载荷试验要点和承载力特征值的确定

**B.0.1** 本试验要点适用于单桩复合地基载荷试验和多桩复合地基载荷试验。

**B.0.2** 复合地基载荷试验用于测定承压板下应力主要影响范围内复合土层的承载力和变形参数。复合地基载荷试验承压板必须具有刚性压板特征。单桩复合地基载荷试验的承压板可用圆形或方形,面积应为一根桩承担的处理面积。当桩径大于 1500mm 时,载荷试验承压板宜按  $\phi=1120\text{mm}$  的桩和桩间土分别检测试验,其特征值按实际单桩的直径,桩间土的置换率进行复合地基承载力计算。桩径小于 600mm 的多桩复合地基载荷试验的承压板可用方形或矩形,其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定。桩、千斤顶的中心(或形心)应与承压板中心保持一致,并与荷载作用点相重合。

**B.0.3** 承压板底面标高应与桩顶设计标高相适应。承压板底下宜铺设粗砂或中砂垫层,垫层厚度取 50~100mm,桩身强度高时宜取大值。试验标高处的试坑长度和宽度,不应小于承压板尺寸的 3 倍。基准梁的支点应设在试坑之外。

**B.0.4** 试验前应采取措施,防止因试验场地地基土含水量变化或地基土扰动影响试验结果。

**B.0.5** 加荷等级可分为 8~12 级。最大加载压力不应小于设计要求压力值的 2.5 倍。

**B.0.6** 每加一级荷载前后,均应各读记承压板沉降量一次,以后每 0.5h 读记一次。当 1h 内沉降量小于 0.1mm 时,即可加下一级荷载。

**B.0.7** 当出现下列现象之一时可终止试验：

- 1 沉降急剧增大,土被挤出或承压板周围出现明显的隆起。
- 2 承压板的累计沉降量已大于其宽度或直径的 6%。
- 3 当达不到极限荷载,而最大加载压力已大于设计要求压力

值的 2.5 倍。

**B.0.8** 卸载级数可为加载级数的 1/2,等量进行,每卸一级间隔 0.5h,读记回弹量,待卸完全部荷载后间隔 3h 读记总回弹量。

**B.0.9** 复合地基承载力特征值应按下列要求确定：

1 当压力-沉降  $p-s$  曲线上极限荷载能确定,而其值不小于对应比例界限的 2 倍时,可取比例界限。当其值小于对应比例界限的 2 倍时,可取极限荷载的 1/2。

2 当压力-沉降  $p-s$  曲线是平缓的光滑曲线时,可按相对变形值确定；

1)对于土、砂、石、碴土桩、工业废料等复合地基,可取  $s/b$  或  $s/d=0.015$  所对应的压力。 $b$ 、 $d$  为承压板的宽度和直径,当大于 2m 时按 2m 计算；

2)对于灰土、石灰桩、粉煤灰、水泥土桩等复合地基,可取  $s/b$  或  $s/d=0.01\sim 0.012$  所对应的压力。

3)对于钢筋混凝土桩按桩基检测规范评定。

**B.0.10** 试验点的数量不应少于 3 点,当满足其极差不超过平均值的 30%时,可取其平均值为复合地基承载力特征值。

## 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”。

中国工程建设标准化协会标准

孔内深层强夯法技术规程

CECS 197 : 2006

条文说明

## 目 次

1	总 则 .....	(23)
3	基本规定 .....	(24)
4	设 计 .....	(25)
4.1	一般规定 .....	(25)
4.2	承载力特征值 .....	(27)
5	施 工 .....	(30)
5.1	施工准备 .....	(30)
5.2	机械成孔 .....	(30)
5.3	强夯作业 .....	(31)
6	检测与验收 .....	(32)
6.1	自 检 .....	(32)
6.2	检 测 .....	(32)

# 1 总 则

**1.0.1、1.0.2** 随着我国基本建设的发展,大型高耸、特殊建设工程不断增多,这些工程也可能建造在各类需要处理的软弱地基上。它们对地基的要求标准高,处理深度深,要求处理后的地基承载力高、地基刚度均匀、变形小、费用低、节约材料、污染公害小等。所以,在总则中,特别明确了采用 DDC 法的设计、施工必须贯彻执行国家有关技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量和保护环境的原则。

**1.0.3** DDC 法处理各类软弱地基时,以动力固结为手段,采用无机材料,如无机无毒的固体土、砂、石料、碎砖瓦、工业废料以及它们的混合物等为填料,达到节约钢材、水泥,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。除了适用本条所列的应用范围外,对沙漠、垃圾场以及工业废料堆场的处理都有明显的效果。

我国广阔分布的沙漠地区,造成了严重的空气和环境污染,对人类造成灾难。尤其沙漠化每年不断的吞没农田,我国已有 262 万平方公里的土地被沙化,约占我国总面积的 27.3%。每年国家要损失 570 多亿元,这是十分严重的问题。因此保护农田,制止沙化的扩展,向沙漠夺田造福子孙后代,DDC 法将是一项有效的技术手段,能为沙漠变良田做出贡献。



### 3 基本规定

**3.0.1、3.0.2** DDC法适用范围较广,特别是采用无机、无毒固体的土、砂、石料、碎砖瓦、灰土、混凝土块、工业废料以及它们的混合物等处理地基,不仅变废为宝,而且节约材料,降低工程造价,保护了生态环境。这是DDC法的一大特点。

**3.0.3** DDC法是一项新技术。应根据工程的具体情况、场地条件、使用要求、环境条件、地基处理要求等,确定地基处理设计方案。

**3.0.4** DDC法施工前的工程试桩是选定设计、施工参数的依据。在没有工程实例可参照的条件下,强调了工程试桩的重要性。当采用DDC法处理地基制定处理方案时,应根据场地条件和工程设计要求等综合因素,确定成孔方式、设备选型。通过试验性施工后,调整设计、施工和工艺参数。

**3.0.5** DDC法处理地基除执行本规程外,尚应执行国家现行有关标准。本规程是桩基、复合地基处理技术的补充和新发展。使用本规程时应注意与国家其他相关标准协调一致。

## 4 设 计

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 大量的地基处理工程实践证明,建筑物上部结构的形状、刚度、荷载大小及场地工程地质条件等因素,对地基的承载力和变形有很大的影响。因此,本条规定对需要进行地基处理的工程,在选择地基处理方案时,应同时考虑上部结构、基础和地基的共同作用,选用能加强上部结构和处理地基相结合的设计方案,使其既可降低地基的处理费用,又能确保建筑物的安全。

**4.1.2** 地基处理的技术效果与成孔条件有密切关系。该工法的成孔技术特征既可优先采用钻孔、掏孔,还可采用重锤冲孔或交替进行,它的核心是达到引孔将强夯重锤放入孔中,以便填料强夯,进行深层的地基处理。

**4.1.3** 孔内深层强夯的桩端与一般桩基础一样,宜置于性状较好的土层上。本技术成桩时采用孔内强夯挤扩,对桩端土层有挤密加固的作用。当桩端没有较好的土层时,可采用 DDC 法加固改良桩端土层,如置入干硬性混凝土、碎石、建筑垃圾等材料,通过夯击形成桩端加固土层作为桩端持力层。设计时应通过试夯和检测确定加固技术效果。

**4.1.4** 根据本技术多年的实践经验和检测数据,其复合地基承载力特征值限定在 600kPa。虽在工程实验中取得的数值更大些,如:灰土桩承载力特征值为 3000kPa( $s=2.57\text{m}$ ),复合地基承载力特征值为 1500kPa( $s=8.57\text{m}$ );素土桩承载力特征值为 750kPa( $s=6.27\text{m}$ )。一般桩端应置于密实土层或卵石层等承载性状好的土层上。对桩长的确定,当以消除地基土的湿陷性为主要目的时,可按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 和《建筑

抗震设计规范》GB 50011 确定。

**4.1.5** 地基处理宽度应根据桩型和地基处理的具体情况而定。对于柔性、半柔性的加固桩,布桩时要超出基础底面边缘一定范围,超出范围值可根据地基处理、工程类别、岩土特性而定。其目的在于增强地基土的整体稳定性,防止基底下被处理的土层在附加应力作用下产生侧向变形。原天然土层越软,加宽范围应越大。对于采用刚性桩处理的地基,可不超出基础以外范围。

**4.1.6** 褥垫层是协调桩土共同作用,调整受力和沉降的构造层,在黄土地基上也可用灰土做褥垫层兼防渗层,其厚度根据设计而定,一般工程的厚度为 300~500mm,对高层其厚度为 500~1000mm。

**4.1.7** 表 4.1.7 是对成孔方法、孔径、桩径、桩间距的限定。它的成孔方法有钻孔、掏孔、挖孔及冲孔。无论哪种方法均可为地基处理造成一个深层强夯的通道,以达到孔内深层强夯的目的,成孔直径可大于锤径也可小于锤径。桩中心距的确定与地基处理的目的和地基土层的特征有关,尤其是夯后直径的大小,它不但与设计动能有关,而且与地基土的构造有关。在动能及填料相同时,其直径随天然地基土层的软硬变化而变化。天然地基强度越低则桩径越大,使桩型成一个不等径的串珠状,达到处理地基刚度均匀的目的。表 4.1.7 中四项技术特征都是相互关联的,夯后的桩径可达到成孔直径的 2.5~4.0 倍。

**4.1.8** DDC 法处理地基的用料广泛,凡是能填入孔内的材料,在高动能、超压强的夯锤作用下,均能达到设计目的。由于用料品种不一,其质量控制、测试方法,宜用两种检测方法确定,应根据不同的用料采用不同的方法测试。只要施工工艺控制严格,DDC 法的强夯机也是检测控制质量的好手段。

**4.1.9** DDC 法可夯成各种桩体,根据孔内填料,如土桩、砂桩、碎石桩、灰土桩、三合土桩、水泥土桩、生石灰桩、粉煤灰桩、碴土桩等。表 4.1.9 对各种桩的用料、含水量、粒径、配比等仅作了原则

的限定。还应根据设计和施工中地基处理的目的、岩土工程的特征、材料的供应、雨水的影响而定。

DDC法既可夯造单组分的素土桩,也可夯造两种混合材料、三种或三种以上的混合材料的多组分的桩种。其粒径的限量是根据一般设备动能压强所定。在特殊条件下,只要孔径能放入所需的粒径,超压强动能锤可将其在孔内予以粉碎,砸入孔底,挤入桩周。配比的限定是根据工艺设备和成桩的技术特征而定,对活性材料是以装载机斗容量配合搅拌,只要按其配比,装载机几次翻倒搅拌和高动能的压强挤扩即可将材料粉碎搅拌均匀。含水量限定是达到活性材料胶化的一个重要因素,DDC法对其低位和高位都作了限定。对于素土桩含水量应越低越好,碴土桩的含水量无论高低均可能使用。

**4.1.10** 复合地基承载力特征值、压缩模量、变形模量在方案设计阶段可按其经验公式估算,但应根据建筑物的重要性通过工程进行原位测试。尤其对碴土桩处理的杂填土地基,其复合地基压缩模量只能由原位测试得出变形模量,再换算压缩模量进行计算。

**4.1.11** DDC法可夯造的串珠、扩大头桩形的单桩承载力特征值,可根据桩周摩阻力和扩大头承载力,以及混凝土桩断面强度等通过公式进行设计估算取其小值。DDC法的桩周摩阻力是天然地基土的2~3倍,这使桩长设计大大减小。

## 4.2 承载力特征值

**4.2.1** 单桩竖向承载力特征值应遵照本规程和参考有关国家现行标准进行估算,应按直桩、串珠和扩大头部分分别计算。计算参数应采用地质勘察报告的提供值或通过试验确定。

桩(扩大头、串珠)端阻力特征值 $q_{pm}$ 、 $q_{pb}$ 和侧摩阻力特征值 $q_{sim}$ 、 $q_{sib}$ 的取值均大于勘察报告提供值的2~3倍,主要是考虑孔内强夯施工工艺的特点,施工时对周围土体产生强挤密作用。挤密的范围一般为桩径的2~2.5倍,挤密后桩间土干重度 $\gamma_d$ 为15

~17kN/m<sup>3</sup>,非饱和黄土、粘性土桩侧阻力可达80~140kPa。桩周围土性改良程度一般根据现场试验确定,当无现场资料时,可参考本规程建议值估算。孔内深层强夯施工对侧摩阻力和端阻力的提高影响因素较多,如施工工艺、填料、地质情况、夯击能量等。应通过现场试验确定各种因素对侧摩阻力的端阻力影响而定。本规程给出的提高系数就是在此基础上提出来的。随着工程不断的实践、经验不断的积累,此提高系数将会更接近实际。

**4.2.3 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》JGJ 79的有关规定。但也综合考虑了孔内强夯施工工艺的施工特点,桩间土地基承载力较勘察报告给出值提高2倍左右。桩间土地基承载力的提高,与施工工艺、夯击能量、地基土的土性和填料等因素有关。根据大量的工程实践和经验,对以素土、砂、石料、渣土等为桩体填料,其复合地基承载力特征值 $f_{spk}=200\sim 600\text{kPa}$ 。对以灰土、混凝土、水泥土等活性材料处理非饱和黄土、粉质粘土和砂土地基,其复合地基承载力特征值 $f_{spk}=800\sim 1600\text{kPa}(s=0.06d)$ 。以三合土处理软弱地基,其复合地基承载力特征值 $f_{spk}=300\sim 400\text{kPa}$ 。对其他土性如尚缺少工程实践经验,应通过现场试验确定。

**4.2.4 复合地基沉降变形计算按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007中分层总和法计算,**计算时应考虑原状土土性的改善,复合地基压缩模量 $E_{sp}$ 、变形模量 $E_0$ 。各参数的变化值应通过现场试验确定。桩土面积的置换率与天然地基、动能大小及锤形有关,一般为20%~40%。由于本技术的特殊性,采用不同的桩体填料,其桩间距也不同。桩土应力比应根据桩体材料和桩间距的设计而定,在2倍的桩径条件下,一般素土、灰土、砂、碎石、工业废料的桩,其桩土应力比为3:1。混凝土桩因其与桩距和强度有关,一般应通过现场试验确定。在无现场实测资料时,上述参数可供估算时选用,但应通过工程试验验证。

**4.2.5** 采用 DDC 法处理软弱地基时,对于多层建筑物,一般沉降变形值仅为 2~4mm;对于大型的高层建筑物,其沉降值仅为国家规范值的 1/20~1/10;对于 10 万立方米油罐强风化地基处理,其沉降值仅为国家规范值的 1/15;对于大型冷却塔下 23m 厚的Ⅲ级自重湿陷性黄土地基,其沉降值远远低于国家规范值。

## 5 施 工

### 5.1 施工准备

5.1.1 DDC 法处理地基范围广,用料易得,技术含量高。为了工程的安全和质量,实施单位必须取得专利技术培训。未取得资质证书的单位,不得进入该项技术的实施。

5.1.2 DDC 法处理地基前,必须具有场地工程地质和水文地质勘察报告、地下管线埋置情况、周边建筑物状况以及工程设计图纸、施工组织设计、施工工艺参数标准。

5.1.3 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 由于 DDC 法采用预钻孔、掏孔和重锤冲击成孔等工艺,故应根据施工工艺的不同、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 桩体填料必须按设计要求在现场配制,尤其对掺有活性材料的填料应由专人进行监督配制。填料可就地选用各种无机固体材料及其混合物等。其中有机物含量不超过 10%~15%。填料的标准必须按表 4.1.9 控制,根据本技术的特征,其配比及均匀性用装载机拌和。

5.1.6 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。

### 5.2 机械成孔

5.2.1 根据土层物理力学性能,优先采用钻孔、掏孔的成孔方法。

如土层内含有块石或松散土层时,可采用冲击成孔或机械挖孔。对特殊土层(如冲孔困难)以两锤落距不大于 150mm 的方法控制成孔深度,即可达到处理深度的要求。

**5.2.2** 为了充分发挥强夯设备的功能,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。

**5.2.3** 成孔深度应满足设计要求。当采用钻、掏孔达到设计深度后,对孔底留有一定天然土可不取出,改用强夯机进行孔内冲击夯实。强夯后影响桩底的有效深度大于孔深 1~2m。

### 5.3 强夯作业

**5.3.1** 强夯前必须按成孔质量标准要求对已成孔的直径、垂直度、标高、孔内的沉渣情况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,应在孔内达到两锤落距不大于 150mm 时,方可进行填料强夯施工。

**5.3.2** DDC 法在孔内填料强夯过程中,必须按照设计工艺规定的标准、数量、击数以及落距等要求施工,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。

**5.3.3** 强夯中必须检查强夯重锤是否与桩孔对中,是否呈自由落体状态,否则严禁填料强夯。

**5.3.4** DDC 法在强夯中,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。

**5.3.5** 对于桩顶高出 500~1000mm 的处理,如强夯能达到设计质量,这一预留高度则在基础施工时予以挖除捣实;如采用大能量强夯,且桩顶属膨胀松散区,可用强夯机的低锤低压夯实。

**5.3.6** 工程施工中,如发现异常必须由设计、监理人员予以解决,施工单位严禁自行处理。



## 6 检测与验收

### 6.1 自 检

6.1.1~6.1.4 工程质量的自检应按设计、施工工艺和本规程有关规定及相关标准进行逐桩施工、逐桩验收。测试其处理深度、桩身质量、承载力、挤密效果以及地基处理均匀性等。对于不合格的桩按其部位、数量等具体情况采取有效措施进行补救。

6.1.5 工程施工记录、检测记录,必需随施工进度,会同监理同时签字验收。

### 6.2 检 测

6.2.1 根据设计要求,按本规程和国家现行有关标准对桩、复合地基、桩间土的承载力、变形模量、均匀性,消除湿陷性、液化等做出综合检测评定。

6.2.2 检测方法:常规的检测方法有轻便触探、重型触探、土工物理力学测试、静载试验以及瑞力波测试等。测试应根据地基处理设计的目的和工程类别,选用二种或三至四种试验测试的方法进行测试,一般选用静载试验和土工试验,对于大型甲类工程应采用动力触探、土工测试、静载试验三种方法以及增设瑞力波测试。

6.2.3 土桩、碎石桩、碴土桩、砂土桩和桩间土的检测龄期一般为14d。对于掺有活性材料的碴土桩、灰土桩、三合土桩宜按28d龄期控制,检测时应避开地面膨胀或虚土层以及含水量过高的松软层。

6.2.6 根据现有经验,对掺有活性材料的灰土桩、水泥土桩、粉煤灰土桩和碴土桩,当桩间距不大于 $2.0d$ ( $d$ 为桩径),以及复合地基承载力特征值大于400kPa时,可按非湿陷性土评定。

当桩间距不大于  $2.0d$  ( $d$  为桩径) 以及复合地基承载力特征值大于  $400\text{kPa}$  时, 按非湿陷、非液化、非膨胀地基桩土共同作用设计。当桩间距不小于  $2.0d$  ( $d$  为桩径) 时, 复合地基承载力特征值小于  $400\text{kPa}$  的土、砂、石料、碴土等桩, 在其桩间土每延长米同一个标高区域范围内取 4 个土样或标贯值 (桩中心、桩边、距桩边  $100\text{mm}$  和两桩中心连线的中点上), 如掺有块状固体的碎砖瓦、碎混凝土块、石料、杂土等桩, 桩中心点仅作标贯值评定。其土工物理、力学性能及标贯值按相关的标准规定进行综合评定, 以确定湿陷、液化、膨胀性状。