

火力发电厂振冲法地基处理 技 术 规 范

DL/T 5101—1999

目 次

前言	631
1 范围	632
2 引用标准	632
3 总则	632
4 符号	633
5 基本规定	634
6 施工图设计阶段勘测	635
7 设计	636
8 原体试验	639
9 施工	639
10 监理	640
11 检测	641
附录 A (提示的附录) 原体试验任务书和原体试验大纲编制内容	642
附录 B (提示的附录) 复合地基载荷试验要点	642
附录 C (提示的附录) 常见振冲器的技术参数	643
附录 D (提示的附录) 施工中常见问题及处理	644
附录 E (标准的附录) 本规范用词说明	644
条文说明	645

前 言

采用振冲法处理地基在国内已广泛应用，并积累了大量的设计、施工经验。为了促进振冲法处理地基技术的发展，确保地基工程的质量，使振冲法处理地基的设计方法和施工质量控制系统化、规范化以及更具操作性，原电力部电力规划设计总院决定编制振冲法地基处理方面的行业标准，并纳入以电规（1995）18号文下达的1995年电力勘测设计标准编制计划。

根据编制计划的要求，由河北省电力勘测设计研究院主编，北京振冲工程公司参加，编制了《火力发电厂振冲法地基处理技术规范》，并以此替代DL5024—1993《火力发电厂地基处理技术规定》中的“振冲加固”一章。

本规范由范围、引用标准、总则、符号、基本规定、施工图设计阶段勘测、设计、原体试验、施工、监理、检测等11章组成。条文对振冲法勘测、设计、试验、施工、监理、检测等各阶段工作做出了具体规定。

1995年2月完成了本规范的编制大纲，1995年3月电力部电力规划设计总院主持通过了对编制大纲的审查。1995年8月完成征求意见稿，于1995年9月由河北省电力勘测设计研究院召集，召开了征求意见稿的讨论会。规范的送审稿于1996年9月完成，1996年11月电力部电力规划设计总院主持通过了规范的送审稿。根据送审稿审查意见，于1997年6月完成了报批稿。

本规范由国家电力公司电力规划设计总院提出并归口。

本规范主编单位：河北省电力勘测设计研究院

本规范参编单位：北京振冲工程公司

本规范委托河北省电力勘测设计研究院负责解释。

本规范主要起草人：张芳芭、程克华、康景俊、尤立新、张莹琪、阎建国、王景廷、谷晓阳。

1 范 围

本规范适用于火力发电厂新建、扩建及改建的生产、辅助生产及附属生产建（构）筑物用振冲法处理地基的勘测、试验、设计、施工、监理与检测。送变电工程可参照使用。

2 引 用 标 准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GBJ 7—1989 建筑地基基础设计规范
- GBJ 11—1989 建筑抗震设计规范
- TGJ 79—1991 建筑地基处理技术规范
- DL 5022—1993 火力发电厂土建结构设计技术规定
- DL 5024—1993 火力发电厂地基处理技术规定
- DL/T 5074—1997 火力发电厂岩土工程勘测技术规程
- DLGJ 125—1996 电力岩土工程监理技术规定

3 总 则

3.0.1 为使火力发电厂（以下简称发电厂）采用振冲法处理地基做到勘测、试验、设计、施工、监理、检测规范化，便于操作，达到安全、经济、确保工程质量的目的，特制定本规范。

3.0.2 采用振冲法处理地基，应按发电厂各类建（构）筑物地基安全等级进行监理，并应符合下列规定：

- 1 一级建（构）筑物必须实行监理。
- 2 二级建（构）筑物应实行监理。

3 三级建（构）筑物宜实行监理，如确有困难不能实行监理时，其施工质量检测仍应按第 11 章的有关规定执行。

3.0.3 振冲法地基处理的施工应有详细的施工技术、施工质量管理 and 质量保证体系，应有专人负责施工质量监督与检验，做好各项施工记录，当发现异常情况时，应及时会同设计单位及有关部门研究解决。

4 符 号

a_c ——桩土面积比 (或称置换率);
 A_0 ——单桩处理的有效桩间土面积;
 A ——单桩所承担的桩间土面积;
 C_{SP} ——复合地基粘聚力;
 C_S ——桩间土粘聚力;
 C_u ——黏性土的不排水抗剪强度;
 d ——桩的直径;
 d_e ——单桩等效影响圆的直径;
 D ——基础埋置深度;
 D_r ——地基处理后要达到的相对密度;
 e_0 ——天然土平均孔隙比;
 e_1 ——地基处理后要达到的孔隙比;
 e_{max} ——天然土最大孔隙比;
 e_{min} ——天然土最小孔隙比;
 E_0 ——桩间土变形模量;
 E_P ——桩体变形模量;
 E_S ——桩间土压缩模量;
 E_{SP} ——复合地基压缩模量;
 f_{pk} ——桩体单位面积承载力标准值;
 f_S ——复合地基承载力设计值;
 f_{sk} ——桩间土承载力标准值;
 f_{SP} ——复合地基承载力标准值;
 k ——渗透系数;
 n ——桩土应力比;
 P_c ——粘粒含量;
 S ——桩的间距;
 γ_0 ——基础底面以上土的加权平均重度;
 η ——形状系数;
 η_d ——基础深度修正系数;
 λ_c ——压实系数;
 μ_P ——应力集中系数;
 φ_P ——桩体内摩擦角;
 φ_S ——桩间土或天然土内摩擦角;
 φ_{SP} ——复合地基内摩擦角;

Ψ ——考虑局部颗粒冲失影响的经验系数。

5 基本规定

5.0.1 根据地基损坏造成建筑物破坏后果的严重性，将发电厂各类建（构）筑物地基分为三个安全等级（见表 5.0.1）。

表 5.0.1 建（构）筑物地基安全等级

安全等级	破坏后果	建（构）筑物名称
一级	很严重	主厂房（包括汽轮发电机基础、200MW 及以上机组的汽/电动给水泵、锅炉构架基础）、主（集）控制楼或网络控制楼、通信楼、220kV 屋内配电装置楼、冷却塔、高度大于 100m 的烟囱、跨度大于 30m 的干煤棚、山谷灰场贮灰坝及其他厂房建筑
二级	严重	除一、三级以外的其他生产建筑、辅助及附属建筑
三级	不严重	机炉检修间、材料库、汽车库、材料库棚、推煤机库、警卫传达室、厂区围墙、自行车棚及临时建筑

5.0.2 振冲法处理的建（构）筑物地基，应设置沉降观测点，并在施工期间和使用过程中进行沉降观测和其他监测工作。沉降观测点的布置应能全面地反映建（构）筑物的变形，并结合基础形式和地质情况确定。在主厂房内布置沉降观测点，应避免设备、管道等工艺设施。

5.0.3 沉降观测点的设置应符合下列规定：

- 一级建（构）筑物必须设置沉降观测点。
- 二级建（构）筑物应设置沉降观测点。
- 三级建（构）筑物宜设置沉降观测点。

5.0.4 振冲法地基处理按不同土类可分为振冲置换和振冲挤密。振冲置换适用于不排水抗剪强度不小于 20kPa 的黏性土、粉土、淤泥质土、饱和黄土和人工回填的粘性土等地基。加填料的振冲挤密适用于饱和砂土地基，也可用于地下水位以上含一定粘粒、渗透性不大的粉细砂层；不加填料的振冲密实，适用于处理粘粒含量不大于 10% 的粗砂、中砂和松散的砂卵石地基。

5.0.5 在可行性研究勘测阶段，当存在采用振冲法进行地基处理的可能性时，应在对场地岩土工程条件做出基本评价的基础上，对振冲法的适用性进行评价论证。

5.0.6 在初步设计勘测阶段，应在初步查明场地岩土工程条件基础上，对振冲法处理地基的深度和范围提出意见和建议，对振冲处理层和下卧层的岩性、埋深、厚度、分布规律及其物理力学指标进行初步评价，为原体试验方案设计提供岩土工程勘测资料，推荐原体试验场地。

5.0.7 初步设计阶段应在初步设计阶段勘测的基础上，按建筑物安全等级及地层条件复杂程度有区别的进行原体试验。

5.0.8 单项工程地基处理施工前，应进行试验性施工，可在护桩及受力较小的地点制桩，

数量不应少于三根。经监理确认施工技术条件满足设计要求后,才能进行地基处理的施工。

5.0.9 振冲法处理地基时,必须对施工质量进行跟踪检测,当检测结果表明处理后的复合地基强度达不到设计要求时,应及时采取补强措施。

5.0.10 振冲法桩体的密实度,应采用重型动力触探进行施工的跟踪检测。当有本工程试验资料时,应以试验确定的重型动力触探击数为标准进行施工检测。当无本工程试验资料时,可参照当地类似土层的试验资料及施工经验,确定采用重型动力触探的适宜击数,进行施工质量的检测。

6 施工图设计阶段勘测

6.0.1 振冲法处理地基施工图设计阶段勘测的任务是查明处理地层及下卧层的工程地质条件;在原体试验的基础上,提出不同建筑地段地基振冲处理深度、范围、振冲处理及基础设计方案和沉降计算所需的有关资料。

6.0.2 勘测应包括如下主要工作内容:

1 以建(构)筑物总平面布置和振冲法地基处理设计方案为依据,查明各建筑地段岩石的埋藏条件和物理力学性质,应着重查明振冲处理地层的埋藏深度、厚度、水平分布及影响振冲处理效果的土的特性参数在垂直和水平方向的变化。

2 查明场地地下水埋深及其季节性变化。

6.0.3 勘探点应按建(构)筑物轮廓线、基础轴线和柱列布置,其间距和数量可按 DL/T 5074—1997《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》施工图设计阶段勘测的有关规定确定。

勘探点的深度应满足下列要求:

1 对按承载力计算的地基,一般性勘探点应达到振冲处理深度;控制性勘探点应满足下卧层强度计算的要求。但勘探点深度在基础底面以下不得小于 5m。

2 对按变形计算的地基,一般性勘探点应达到加固处理深度以下 1m~2m;控制性勘探点应考虑相邻基础的影响,达到地基沉降计算所需的深度。

6.0.4 勘探方法和手段,应根据振冲处理地层的土质选择。对粘性土及粉土,可采用钻探、标准贯入试验、静力触探、十字板剪力试验、室内土工试验等方法 and 手段;对砂土,可采用钻探、标准贯入试验、静力触探、室内土工试验等方法 and 手段。必要时尚可进行旁压试验、平板载荷试验及注水(或压水)试验。

6.0.5 原状土试样或原位测试的数量,应根据地层条件确定。对同一建筑地段的同一土层,物理力学指标试验的个数不宜少于 6 个,同一原位测试方法的测试数据不宜少于 3 个。

6.0.6 室内土工试验除应提供土的一般物理力学性质指标外,还应提供粘性土的渗透系数(k),粉土的粘粒含量(P_c),砂土的相对密度(D_r)、粘粒含量(P_c)、颗粒级配。必要时,应提供土的三轴不固结不排水抗剪强度(U_u)或固结不排水抗剪强度(C_u)。

6.0.7 对软黏土地基,应通过现场十字板剪切试验取得其不排水抗剪强度(C_u)。

6.0.8 勘测成果除应满足 DL/T 5074—1997《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》要求外,应注意对影响振冲处理效果的土的特性指标进行分析,说明其垂直和水平方向的变化规律,提供振冲法地基处理设计、施工、监理、检测的依据。

7 设 计

7.0.1 施工图设计阶段复合地基承载力标准值的确定应符合下列规定:

- 1 一级建(构)筑物应按现场复合地基载荷试验确定。
- 2 二级建(构)筑物应按单桩和桩间土的载荷试验按式(7.0.1-1)~式(7.0.1-2)

计算:

$$f_{SP} = a_c f_{pk} + (1 - a_c) f_{sk} \quad (7.0.1-1)$$

$$a_c = d^2 / d_e^2 \quad (7.0.1-2)$$

式中: f_{SP} ——复合地基承载力标准值, kPa;

f_{pk} ——单桩承载力标准值, kPa;

f_{sk} ——桩间土承载力标准值, kPa;

a_c ——桩土面积比;

d ——桩的直径, m;

d_e ——单桩等效影响圆的直径, m。

当等边三角形布桩时: $d_e = 1.05S$

当正方形布桩时: $d_e = 1.13S$

当矩形布桩时: $d_e = 1.13 \sqrt{S_1 S_2}$

S, S_1, S_2 分别为桩的间距、纵向间距和横向间距, m。

3 三级建(构)筑物如无现场载荷试验资料时, 复合地基承载力标准值 f_{SP} 可按式(7.0.1-3)确定:

$$f_{SP} = [1 + a_c(n - 1)] f_{sk} \quad (7.0.1-3)$$

式中: n ——桩土应力比, 无实测资料时可取 2~4。天然地基承载力低时, 取大值; 反之取小值。

桩间土承载力标准值可用天然地基承载力标准值代替。

式(7.0.1-3)还可为需要载荷试验的工程估算复合地基承载力。

7.0.2 复合地基承载力设计值应符合下列规定:

- 1 基础宽度的修正系数取 0, 其地基承载力设计值应按式(7.0.2-1)计算:

$$f_s = f_{SP} + \eta_d \gamma (D - 0.5) \quad (7.0.2-1)$$

式中: f_s ——复合地基承载力设计值, kPa;

f_{SP} ——复合地基承载力标准值, kPa; 按本规范 7.0.1 条确定;

η_d ——基础埋深的地基承载力修正系数, 应按下面的经验值确定: 黏性土 $\eta_d = 1.00$;

粉砂、细砂、粉土 $\eta_d = 1.50$; 中砂、粗砂、砾砂及碎石土 $\eta_d = 2.00$;

γ ——基础底面以上土的加权平均重度, 地下水位以下取有效重度;

D ——基础埋置深度, m; 一般自室外地面标高算起。在填方整平地区, 可自填土地面标高算起, 但填土在上部结构施工后完成时, 应从天然地面标高算起。对于地下室, 如采用箱形基础或筏基时, 基础埋置深度自室外地面标高算起, 在其他情况下, 应从室内地面标高算起。

当计算所得设计值 $f_s < 1.1f_{sp}$ 时, 可取 $f_s = 1.1f_{sp}$ 。

2 当不满足按式 (7.0.2-1) 计算的条件时, 可按 $f_s = 1.1f_{sp}$ 直接确定地基承载力设计值。

7.0.3 复合地基的压缩模量和变形模量按式 (7.0.3-1) 计算:

1 复合地基的压缩模量

$$E_{sp} = [1 + a_c(n-1)]E_s \quad (7.0.3-1)$$

式中: E_{sp} ——复合地基压缩模量, MPa;

E_s ——桩间土压缩模量, MPa; 也可用天然土的压缩模量代替。

2 复合地基的变形模量

$$E_{op} = \frac{E_o A_o + (A - A_o)E_p}{A} \quad (7.0.3-2)$$

式中: E_{op} ——复合地基变形模量, MPa;

E_o ——桩间土变形模量, MPa;

E_p ——桩体变形模量, MPa;

A_o ——单桩处理的有效桩间土面积, m^2 ;

A ——单桩所承担的桩间土面积, m^2 。

7.0.4 复合地基抗剪强度指标可按式 (7.0.4-1) ~ 式 (7.0.4-3) 计算:

$$\lg \varphi_{sp} = a_c \mu_p \lg \varphi_p + (1 - a_c \mu_p) \lg \varphi_s \quad (7.0.4-1)$$

$$C_{sp} = (1 - a_c \mu_p) C_s \quad (7.0.4-2)$$

$$\mu_p = \frac{n}{(n-1)a_c + 1} \quad (7.0.4-3)$$

式中: φ_{sp} ——复合地基内摩擦角, ($^\circ$);

C_{sp} ——复合地基粘聚力, kPa;

φ_p ——桩体内摩擦角, ($^\circ$);

C_s ——桩间土粘聚力, kPa;

φ_s ——桩间土或原状土的内摩擦角, ($^\circ$);

μ_p ——应力集中系数。

7.0.5 当周围有建(构)筑物时, 应考虑施工的安全距离, 振冲孔中心距建(构)筑物基础外缘不应小于 3m。

7.0.6 基础埋置较深时, 宜在地基处理前挖去部分土层, 挖土深度可按式 (7.0.6) 计算:

$$H_1 = H - H_2 \quad (7.0.6)$$

式中: H_1 ——挖土深度, m;

H ——地面距基础底面深度, m;

H_2 ——基础底面以上保留土层厚度, m; 30kW 振冲器取 1.50m, 75kW 振冲器取 2.00m。

7.0.7 振冲法处理地基范围应根据建(构)筑物的重要性、场地岩土工程条件, 按下列规定确定:

1 当用于提高地基承载力和改善变形条件时, 一级建(构)筑物宜在基础外缘扩大 2 排桩, 二、三级建(构)筑物宜在基础外缘扩大 1 排桩。

2 当用于消除地基液化时,一级建(构)筑物宜在基础外缘扩大3排桩,二、三级建(构)筑物宜在基础外缘扩大2排桩。

7.0.8 桩位布置,对大面积满堂加固地基,宜采用等边三角形布置,对独立或条形基础,宜采用正方形、矩形或梅花形布置。

7.0.9 振冲置换桩的间距,应根据荷载大小和天然地基承载力确定,还应结合振冲器功率考虑。对于30kW振冲器,一般为1.30m~1.80m;对于75kW振冲器,一般为1.80m~2.50m。

振冲密实桩间距与土的颗粒组成、要求达到的密实度、地下水位、振冲器功率、水量等有关,应通过现场试验确定。对于30kW振冲器,一般为1.80m~2.50m;对于75kW振冲器,一般为2.00m~3.50m。也可按式(7.0.9-1)~式(7.0.9-2)确定:

$$S = \eta \Psi \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} d \quad (7.0.9-1)$$

$$e_1 = e_{\max} - D_r(e_{\max} - e_{\min}) \quad (7.0.9-2)$$

式中: S ——桩的间距, m;

η ——形状系数;三角形布桩为0.952,正方形布桩为0.886,梅花形布桩为1.254;

Ψ ——考虑局部颗粒冲失影响的经验系数,粗砂为1.00,中砂为0.90,细砂为0.80,粉砂为0.70;

d ——桩的直径, m;

e_0 ——砂土的天然孔隙比;

e_1 ——地基处理后要达到的孔隙比;

e_{\max} ——天然土最大孔隙比;

e_{\min} ——天然土最小孔隙比;

D_r ——地基处理后要达到的相对密度,可取0.70~0.85。

7.0.10 振冲桩设计长度的确定应符合下列规定:

1 在黏性土地基中,应按建(构)筑物的允许沉降量及地基下卧层承载力计算结果确定;

2 当基础下相对硬层埋藏深度不大时,应按相对硬层埋藏深度确定;

3 桩长不宜小于4m,也不宜大于18m;

4 在可液化地基中,桩长应按处理液化层厚度确定,满足抗液化要求。

7.0.11 振冲置换桩的平均直径与地基土强度、振冲器的功率有关,可按每根桩所用的填料量计算。对30kW振冲桩径,可取0.80m~1.00m;对于75kW振冲桩径,可取1.00m~1.20m。

7.0.12 振冲法桩体材料可采用含泥量不大于5%的碎石、卵石、砾石、粗砂、矿渣或其他无腐蚀性和性能稳定的硬质材料。禁止使用强风化易软化的石料。粒径要求为:30kW振冲器2cm~8cm,最大粒径不宜大于10cm;75kW振冲器为3cm~10cm,最大粒径不宜大于15cm。

7.0.13 在确定振冲地基加固面标高时,应在加固处理层表面预留一定高度的振密效果不稳定的桩头,该高度对30kW振冲器约1m,对75kW振冲器约1.50m,并在基础施工前清除。

7.0.14 基础混凝土垫层以下,应铺设压(振)实的碎石垫层。碎石层厚度:当桩距小于1.50m时,厚度可为300mm;当桩距小于2.00m时,厚度可为400mm;当桩距大于2.00m时,厚度可为500mm。垫层范围宜超过基础外缘300mm。垫层的压实系数 λ_c 应大于0.93。

8 原 体 试 验

8.0.1 原体试验的目的是通过试验检验振冲法的适宜性和处理效果,提出合理的桩距、桩径、桩长等设计参数,并选择两种桩距进行对比试验,参考同类型工程的经验提出密实电流、留振时间、水压、填料量等施工参数,确定复合地基的承载力标准值和变形模量,推荐施工质量检验的方法和手段。

8.0.2 初步设计阶段应按附录A编制原体试验大纲,同时应绘制试验场地桩位及勘探孔位置图,明确布桩数量、桩间距及根据需要确定的试验内容、检测项目、检测数量、加载方式等,并在试验完成后,编制原体试验报告。

8.0.3 试验场地应选择有代表性的地段,并应进行试验前勘探。勘探手段和方法,应根据试验场地地层岩性按6.0.3~6.0.6的有关规定选择,并提出相关资料。

8.0.4 试验场地振冲桩施工后,应有一定的恢复期才能进行载荷试验。恢复期可根据振冲处理层的岩性确定,砂土地基宜在成桩后10d,粉土地基宜在成桩后20d,粘性土地基宜在成桩后30d。

8.0.5 同一条件下载荷试验的内容和数量应符合下列规定:

1 一级建(构)筑物应做单桩复合地基载荷试验,数量不应少于4个;有条件时,也可做单桩和桩间土载荷试验、多桩复合地基载荷试验。

2 二级建(构)筑物应做单桩和桩间土载荷试验,数量不应少于3个。

3 三级建(构)筑物可不做载荷试验。

对粘性土、粉土地基,当试验期间地下水位低于载荷试验面,而以后年平均水位有上升至试验面以上的可能时,宜做浸水饱和状态的载荷试验。

8.0.6 原体试验除按本规定做载荷试验外,还应做桩体密实程度、桩体均匀性、桩间土挤密效果检验。

8.0.7 复合地基承载力标准值及压缩模量、变形模量的确定按7.0.1、7.0.3有关规定确定。复合地基载荷试验及承载力取值方法见附录B。

9 施 工

9.0.1 施工准备工作应符合下列规定:

1 参加设计单位的技术交底;

2 研究及分析场地地质资料;

3 按设计要求准备相应功率的振冲器及配套机具;

4 编写施工组织设计,送交建设单位、监理单位审定;

5 完成施工场地的三通一平工作;

- 6 设立泥浆排泄系统；
 - 7 按建（构）筑物的坐标控制点布桩，桩位允许偏差不得大于 50mm。
- 9.0.2 造孔制桩应符合下列规定：**
- 1 振冲器对准桩位，其偏差不得大于 100mm；
 - 2 在造孔过程中，应记录各深度的水压、水量、时间、电流值，记录的次数不应少于 1 次/m~2 次/m；
 - 3 振冲器的贯入速度宜为 0.5m/min~2m/min；
 - 4 造孔深度与设计桩底标高允许偏差 ± 200 mm；
 - 5 如遇振冲器不易贯入的砂层或其他土层时，可增设辅助水管，以增加下沉速率；
 - 6 制桩过程中，应保持振冲器处于悬垂状态；施工电压应保持稳定，允许偏差为 $380V \pm 20V$ ；
 - 7 大功率如 75kW 振冲器宜采用连续投料法，小功率如 30kW 振冲器宜采用间断投料法，每次投料以孔内高度不大于 500mm 为宜；
 - 8 制桩时每 0.50m~1.00m 记录一次振密电流、留振时间、水压、填料量。
- 9.0.3 施工顺序可在下列方法中选用：**
- 1 排孔法，由一端开始，逐步造孔制桩到另一端结束；
 - 2 跳打法，同一排桩隔一桩制一桩，反复进行到另一端结束；
 - 3 帷幕法，先制外围 2 圈（排）~3 圈（排）桩，然后制内圈，采用隔一圈或依次向中心制桩。
- 9.0.4 造孔制桩质量应按下列标准控制：**
- 1 施工时振冲器尖端喷孔中心与孔位偏差不得大于 50mm；
 - 2 造孔中心与设计定位中心偏差不得大于 100mm；
 - 3 完成后的桩顶中心与设计定位中心偏差不得大于 $0.20d$ （ d 为桩直径）；
 - 4 施工造孔深度与设计深度的允许偏差为 ± 200 mm。
- 9.0.5 施工单位应进行施工质量自检，除按施工规范规定的自检内容外，可采用重型动力触探进行跟踪自检，自检数量为总桩数的 3%。检测记录应送交监理。**
- 9.0.6 当施工场地局部地段地层分布、地层岩性变化较大，造成难以按照规定的施工参数施工，或振冲处理效果不能满足设计要求时，施工单位应及时会同设计和监理等单位研究处理。**

10 监 理

- 10.0.1 监理单位应具有国家或电力行业监理资质。现场监理人员应持有监理资格证书，并需了解和掌握与工程有关的勘测、试验、设计资料及技术要求。**
- 10.0.2 施工前监理单位应编制监理大纲、监理实施细则，经建设单位批准后执行。**
- 10.0.3 振冲法地基处理施工质量监理的控制要点应为：**
- 1 参加对施工队伍资格的考查和评标；
 - 2 审核施工单位的施工组织设计，监督检查其质量保证措施；
 - 3 复测施工坐标控制点，抽检桩位放线、场地标高，校核不同标高建筑场地的造孔深

度及有效桩长；

- 4 对进场设备的性能进行检验；
- 5 对振冲填料的材质进行检验；
- 6 旁站监督和检查施工时的造孔深度、振密电流、留振时间、振密段提升高度、水压及填料量；

7 施工过程中应注意观察相邻桩有无串桩现象；

8 现场监理人员旁站的同时，应做监理记录。

10.0.4 振冲法地基处理工程竣工验收应符合以下规定：

1 以建（构）筑物为单位，组织分项验收；

2 分项工程施工及质量检测结束后，施工单位应在自检基础上提出竣工验收申请，监理单位确认后，报请建设单位及有关部门共同进行竣工验收。对不能满足合格要求的工程，施工单位应提出处理方案，由监理单位监督处理，经复验合格后正式签署验收报告。

10.0.5 振冲法地基处理施工结束后，应编制和提交监理工作报告，有关施工文件资料应整编归档。

11 检 测

11.0.1 振冲法处理地基施工应进行质量检测，检测点布置应具有代表性，并注意平面上的均匀性。可按下列部位和地段布置检测点：

- 1 建（构）筑物的重要基础部位；
- 2 施工过程中出现过异常情况的地段；
- 3 具有代表性和面积上的均匀性。

11.0.2 振冲法处理地基施工质量检测宜分阶段进行：

1 施工过程中的桩体密实度检测，宜采用重型动力触探方法，检测数量宜为总桩数的2%~4%；

2 施工结束后处理效果检测，宜采用单桩复合地基载荷试验、单桩、桩间土载荷试验及静力触探、跨孔波速试验等方法。

11.0.3 不同建（构）筑物的检测方法及检测数量的确定应符合下列规定：

1 一级建（构）筑物及复杂场地，应采用单桩复合地基载荷试验进行检测。有原体试验对比资料时，也可用单桩和桩间土载荷试验进行检测，试验点不得少于2个。当主厂房地段布桩数量较多时，可划分为几个建筑单元，按以上要求布置检测工作；

2 二、三级建（构）筑物，宜采用单桩和桩间土载荷试验进行检测，试验点不宜少于2个；

3 采用其他辅助方法进行检测时，应根据土质及施工情况每100根~200根桩抽检1点（组），但每个建筑物不应少于3点（组）。

11.0.4 检验振冲法地基处理效果的时间按8.0.4条的规定执行。

附录 A (提示的附录)

原土试验任务书和原土试验大纲编制内容

A.0.1 厂区地质简况。

A.0.2 对地基处理的要求，应阐明基础埋置深度、直接持力层状况、基础设计对复合地基承载力标准值及复合地基压缩模量的要求。

A.0.3 试验目的：

1 主要检验振冲法处理地层的处理效果，取得合理的复合地基承载力标准值 f_{sp} 及桩间土的压缩模量 E_{s0} 。

2 选定合理的设计参数（桩径、桩距、桩长、置换率等）。

3 选定施工机械（振冲器功率以及与其相匹配的辅助机具）、施工工艺，确定施工参数（空载电流、密实电流、留振时间、水冲压力、填料量、填料粒径级配），为工程施工和施工检测以及地基处理效果的检验创造条件。

A.0.4 试验方案：

1 试验层面的选择，宜使试验层面接近基础持力层的实际状况（地层岩性及地下水条件）。

2 试验机具的选择要综合考虑地基土的物理力学性质、建筑物对复合地基承载力的要求、机具造孔能力、制桩深度和成桩质量等因素。

3 试验参数按本规定 6.0.1 复合地基承载力标准值计算公式进行多方案系列估算，或参考其他工程类似土层的试验结果和实践，选择布桩方式、桩距、桩径、面积置换率、有效桩长等试验参数。

4 试验及检测项目确定，应根据场地的性质，宜选择不同功率的振冲器进行试验。在复杂土层中采用一组试验不能满足设计要求时，应按需要进行多组试验。具体数量参见本规定 8.0.5。

检测项目主要有：成桩前、后标准贯入试验，成桩前、后静力触探试验，成桩前、后钻孔取土样对比试验，成桩后桩体重型动力触探试验。

A.0.5 试验场地选择，要着重考虑试验区处理深度范围内土层的代表性，邻近使用的建筑物；试验区无障碍物，不影响厂区设施及地下管道布置，尽可能利用试桩作为工程桩使用（如试验场地选于主厂房扩建端、检修场地或构造桩范围等）。

A.0.6 工程进度和预算。

附录 B (提示的附录)

复合地基载荷试验要点

B.0.1 单桩复合地基载荷试验的压板可用圆形或方形，面积为一根桩所承担的处理面积，多桩复合地基载荷试验的压板可用方形或矩形。压板面积应与试验桩所承担的处理面积相同。单桩载荷试验压板面积应等于或略小于桩体面积。

- B.0.2** 压板底高程应符合设计要求，压板下应设 20mm 碎石垫层并加中粗砂找平层。
- B.0.3** 试验设备和堆载反力选择应大于设计要求值的 2.50 倍～3.00 倍。
- B.0.4** 加荷等级可分为 8 级～12 级，总加载量不得小于设计要求值的 2.00 倍。
- B.0.5** 每加一级荷载 Q ，在加荷前后应各读记压板沉降 S 一次，以后每半小时读记一次，当 1h 内沉降量小于 0.1mm 时，即可加下一级荷载；对饱和黏性土地基中的振冲桩，当 1h 内沉降量小于 0.25mm 时，即可加下一级荷载。
- B.0.6** 当出现下列情况之一时，可终止试验：
- 1 沉降急骤增大，土被挤出或压板周围出现明显的裂缝；
 - 2 累计的沉降量已大于压板宽度或直径的 10%；
 - 3 总加载量已为设计要求值的 2.50 倍以上。
- B.0.7** 卸载可分三级等量进行，每卸一级，读取回弹量，直至变形稳定。
- B.0.8** 复合地基承载力基本值应按下列规定确定：
- 1 当 $Q-S$ 曲线上有明显的比例界限时，可取该比例界限所对应的荷载；
 - 2 当极限荷载能确定，而其值又小于对应比例界限荷载值的 1.50 倍时，可取极限荷载的 1/2；
 - 3 按相对变形取值，对以黏性土为主的地基，可取 S/b 或 $S/d = 0.02$ 所对应的荷载（ b 和 d 分别为压板宽度和直径）；对以粉土和砂土为主的地基，可取 S/b 或 $S/d = 0.015$ 所对应的荷载。
- B.0.9** 试验点的数量不应少于三个，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标准值。
- B.0.10** 单桩及桩间土承载力标准值取值方法同上述规定。

附 录 C

(提示的附录)

常见振冲器的技术参数

表 C 常见振冲器的技术参数

型 号	ZXQ-13	ZCQ-30	ZCQ-55	HJ-75
电机功率 (kW)	13	30	55	75
转数 (r/min)	1450	1450	1450	1450
稳定电流 (A)	22.50	60	100	150
不平衡重力 (N)	290	660	1040	—
振动力 (kN)	35	90	200	160
振幅 (mm)	4.20	4.20	5.00	7.00
振冲器外径 (mm)	274	351	450	426
振冲器长度 (mm)	2000	2150	2500	3000
总重力 (kN)	7.00	9.40	16.00	20.50
振冲桩直径 (cm)	—	80～100	—	90～150

附录 D
(提示的附录)
施工中常见问题及处理

表 D 施工中常见问题及处理

类别	问 题	原 因	处 理 方 法
成 孔	振冲器下沉速度太慢	土质硬, 阻力大	1. 加大水压; 2. 使用大功率振冲器
	振冲器造孔电流过大	1. 贯入速度过快; 2. 振动力过大; 3. 孔壁土石坍塌	1. 减慢振冲器下沉速度; 2. 减少振动力
	孔口不返水	1. 水量不够; 2. 遇强透水层	1. 加大水压; 2. 穿透水层
填 料	石料填不下去	孔口太小	1. 清孔; 2. 把孔口土挖除
		一次加料太多, 造成孔道堵塞	1. 加大水压, 提拉振冲器, 打通孔道; 2. 每次少加填料, 做到“少吃多餐”
加 密	振冲器电流过大	间断填料, 上部形成卡壳	1. 加大水压、水量, 慢慢冲开堵塞处; 2. 每次填料要少; 3. 采用连续填料工艺

附录 E
(标准的附录)
本规范用词说明

E.0.1 执行本规范条文时, 对要求严格程度的用词说明如下, 以便在执行中区别对待。

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”或“可”, 反面词采用“不宜”。

E.0.2 条文中必须按指定的标准、规范或其他有关规定执行的写法为: “按……执行”或“符合……要求”。非必须按所指定的标准规范或其他有关规定执行的写法为“参照……”。

火力发电厂振冲法地基 处理技术规范

DL/T 5101—1999

条 文 说 明

目 次

1 范围	647
3 总则	647
5 基本规定	648
6 施工图设计阶段勘测	649
7 设计	650
8 原体试验	652
9 施工	652
10 监理	654
11 检测	655

1 范 围

采用振冲法处理地基,以达到提高地基强度和减少建(构)筑物变形的目的,这是在国内应用较普遍和较好的一种地基处理方法。火力发电厂建(构)筑物有其高、大、重、深的特点,因此在编制本规范时,既吸收了电力工程建设经验,又体现了火力发电厂的特点和重要性。本规范适用于火力发电厂地基处理工程的需要。

3 总 则

3.0.1 国内采用振冲法处理地基已有二十多年的历史,在总结经验的基础上,为了更好的指导实践,部分行业部门和地区相继编制了带有自己特点的规范、规程、规定,使设计和施工有了可依据的法规。但地基处理的全过程涉及勘测、试验、设计、施工、监理和检测。电力建设工程采用振冲法处理地基的全过程,需要一本规范化的技术规定,以达到方便操作、提高效益、确保工程质量的目的。

3.0.2 地基处理是一项隐蔽工程,施工质量的优劣直接关系到建(构)筑物的安全。因此,要保证振冲法地基处理的施工质量,就一定要施行施工全过程的监督和管理,才能保证质量和及时发现问题并采取有效措施。

对工程建设实行全面的、全过程的监理是一种先进而有效的科学管理方法,尤其是地基处理工程。通过这几年的试点和实践,已取得了很好的效果,对工程实行监理已逐步被建设单位重视并接受,特别是在电力系统,对地基处理这样的隐蔽工程实行监理已形成制度。

因此,本规范明确了按火力发电厂各类建(构)筑物的安全等级,确定岩土工程监理制度的实施。

3.0.3 地基处理质量存在差异,有时甚至较大,这种差异不仅出现在各施工单位之间,有时施工单位内部在不同机组(甚至同一机组)上也出现较大差异。除了因地质条件有变化,没有及时、准确的调整施工参数外,施工单位及人员的质量意识淡薄是其根本原因,由此而造成的工程事故是有实际例子的。因此,地基处理除了要求施工单位有一套完整的、行之有效的质量保证体系外,还要有严格的监理和及时的跟踪检验措施。一旦发现异常情况,及时会同设计单位及有关部门研究解决。

3.0.4 本规范是在 DL5024—1993《火力发电厂地基处理技术规定》、DL5022—1993《火力发电厂土建结构设计技术规定》、DL/T5074—1997《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》、TGJ 79—1991《建筑地基处理技术规范》、DLGJ 125—1996《电力岩土工程监理技术规定》基础上编制的。当本规范中的标准高于其他行业及地区的相关规范、规定中的标准时,应按本规范执行。例如对发电厂建(构)筑物的监理标准,我们认为根据火电厂的重要性,一级建(构)筑物必须实行监理,二级建(构)筑物应实行监理。本标准的规定均高于《火力发电厂地基处理技术规定》的相关标准。另外,在本规范中,对某些未做规定的事项,应按电力系统有关规程,国家、地区和行业的有关标准执行。

5 基本规定

5.0.1 为了与 DL5022—1993《火力发电厂土建结构设计技术规定》和 DL/T5074—1997《火力发电厂岩土工程勘测技术规程》的分级办法保持一致。根据地基损坏造成建（构）筑物破坏后果的严重性、荷重大小、对不均匀沉降的敏感程度，本规范以同等标准将发电厂各类建（构）筑物地基分为一、二、三个安全等级，以区别对待地基处理问题。

5.0.2 采用振冲法处理的地基，在施工过程中或在生产运行过程中，都有地基土垂直变形和水平位移的问题。其影响范围和变形速率，是否形成对地基土稳定性的威胁和对邻近建（构）筑物造成破坏，都需要采取监测手段进行监测，并加以控制，使地基处理效果满足设计要求，当沉降观测发现问题时也便于及时处理。

按照发电厂工艺设备对地基土变形敏感且需要严格控制的特点，本规范明确沉降观测点的布置要求。在这里需要指出的是，在主厂房内布置沉降观测点，一定要和工艺专业配合。以往有因工艺设备、管道布置而无法观测的情况。

5.0.4 振冲法处理地基是利用水平向振动的振冲器，对松散土层进行加固处理的一种地基处理方法。按不同土类，此法可分为振冲置换和振冲挤密。

振冲置换是利用振冲器在高压水流下边振边冲，在软弱黏性土地基中成孔，在制桩过程中，填料在振冲器水平向振动力作用下，挤向孔壁的软土中，从而使桩体直径扩大。当这一挤入力与土的约束力平衡时，桩径不再扩大。如果原土强度过低，土的约束力始终不能平衡填料挤入孔壁的力，形不成桩体，此种方法就不适用了。一些实测资料表明，土的不排水抗剪强度小于 20kPa 时，难以成桩，质量也难以控制。国内的有关规范、规定均认为振冲置换适用于处理不排水抗剪强度不小于 20kPa 的黏性土。

在振冲器重复水平振动和侧向挤压作用下，地基产生周期性剪力，土体内的孔隙水压力迅速增大，砂土的结构逐渐破坏，使砂层发生液化，砂粒向低势能位置转移，砂颗粒重新排列，孔隙减小，这样，土体由松变密。另外，依靠振冲器的水平振动力，在加填料情况下，还通过填料使砂层挤压加密，这就是振冲挤密法。粗中砂和砂卵石地基可不加填料加固地基。

5.0.7 在发电厂的可行性研究阶段，应对建筑场地地基处理的必要性和可行性提出充分论据，并通过调查研究，对有关地基处理方案进行技术经济比较，推荐出两个或若干个技术可靠、经济合理的地基处理方案。在初步设计阶段，应对地基处理的方案进一步优选。当确定采用振冲法处理地基时，应在此阶段尽快进行原体试验工作。本规范强调了原体试验工作在初步设计阶段完成，这对加快工程进度、节省投资十分有效，也是工程实践的总结。

5.0.8 发电厂厂区地基处理范围量大、面广，地层分布、地层岩性都会有所变化，存在多个施工单位参与施工和施工机具差异等情况。为了调试机具设备、协调具体操作与各项工序的关系，使之适应地层条件，满足工艺要求和施工质量要求，确定施工参数，为顺利施工创造条件，单项工程地基处理施工前，应进行试验性施工。试验性的施工桩的数量和地点应与设计及监理单位协商确定，但不少于三根。特别应当指出的是，每台振冲器的空载电流是不同的，应当在试验性施工中加入以确定，该空载电流加上设计要求的密实电流，才是施工时的总控制电流。

5.0.9 本条文规定振冲法处理地基时,必须对施工质量进行跟踪检测。跟踪检测包括施工单位的自检和监理单位的抽检,这是确保施工质量的根本措施。对施工中个别部位由于地层或其他原因,当检测结果表明处理后的复合地基强度达不到设计要求时,应及时与设计 and 监理单位商定方案,采取补强措施。

5.0.10 根据大量工程实践,检验振冲法桩体的密实度,采用重型动力触探方法效果最好。其击数标准当有本工程试验资料时,应以试验确定的桩体重型动力触探击数乘以小于1.00的施工系数后确定。一般认为,桩体重型动力触探击数小于7时,为不合格桩,当桩体重型动力触探击数为12击~20击时,复合地基承载力标准值可达200kPa~300kPa。

6 施工图设计阶段勘测

6.0.1 本章适用于地基处理方案已确定采用振冲法的前提下所进行的施工图设计阶段勘测。在可行性研究勘测阶段与初步设计勘测阶段,当地基存在采用振冲法处理的可能性或作为地基处理比选方案时,可参照本规范对振冲法的适用性进行评价。如果初设勘测时已确定采用振冲法作为地基处理方法,则可参照本章布置勘测工作。

6.0.2 本条着重指出要查明振冲处理地层的埋藏深度、厚度、水平分布及影响振冲处理效果的土的特性参数在水平和垂直方向的变化。由于发电厂占地面积大,地层的变化是难以避免的。通常,地基处理原状土试验都结合主厂房、冷却塔等主要建筑地段进行。当厂区地层埋藏条件变化大时,其他建筑地段基础底面的岩性与试验场地差别也可能较大,试验时确定的设计和施工参数也难以适应每个建筑地段,这就需要根据这些差别进行不同建筑地段振冲处理的设计,在施工中也需要根据这些变化调整施工参数。因此,查明振冲处理地层的埋藏深度、厚度、水平分布及其变化无疑是重要的。

土的一些特性参数,如粘粒含量(P_c)、砂土的相对密度(D_r)、软黏土的不排水抗剪强度(C_u)等,直接影响振冲处理的机理和效果。由于粘粒含量的变化,振冲处理机理可能会从挤密型转变为置换型。粘性土的不排水抗剪强度太低,可能会造成振冲处理方法的失效。因此查明这些参数及其变化,对评价振冲法的适用性,对指导施工及施工质量的监理、检测,无疑是十分重要的。

6.0.3 不同建筑地段勘探点的深度随振冲处理深度和地基计算类别的不同而应有所区别。对主厂房、烟囱、冷却塔等需进行变形验算的建筑地段,除需控制振冲处理层的变化外,尚需控制压缩层的变化,故一般性勘探点应达到加固处理层以下1m~2m。控制性勘探点应达到考虑相邻基础的影响时地基沉降计算所需深度。对按承载力计算的建筑地段,由于振冲处理深度一般会达到相对硬层,故一般性勘探点揭穿振冲处理层即可,控制性勘探点应满足下卧层计算的要求。振冲处理层以下卧层的岩性及物理力学指标的变化,对振冲处理施工时桩底部的填料量有一定影响,同时卧层的岩性对复合地基的排水固结有一定的影响,在一定程度上会影响振冲处理效果。因此,应布置适当的勘探试验工作量,查清下卧层的工程地质条件。

6.0.4 本条原则规定了根据振冲处理地层的土质可采用的勘探方法和手段。对振冲处理地基的勘探,应重视原位测试手段的采用,因凡需采用振冲法处理的地基,一般为松散的砂层和软弱的土层,采取土样比较困难,且采取的土试样在取样、运输、试验过程中,均易受到

扰动,影响工程地质评价的准确性,而原位测试则可在很大程度上避免上述问题的发生。

6.0.5 本条针对不同地层条件,并考虑到统计数量的需要,对土层的物理力学指标的试验个数和原位测试的数量规定了最低要求,在工程中尚可根据实际情况因地制宜的增加,并应注意试验指标在垂直和水平方向上的代表性。

6.0.6 关于室内土工试验,除要求提供土的一般物理力学指标外,特别规定要提供粘性土的渗透系数(k)、粘粒含量(P_c)、砂土的相对密度(D_r)、软黏土的不排水抗剪强度(C_u)等,因为这些参数直接影响振冲处理的机理和效果。关于土的三轴不固结不排水(U_u)或固结不排水(C_u)抗剪强度,可视需要或有无现场十字板剪切试验而定。

7 设 计

7.0.1 静载荷试验是目前确定振冲法复合地基承载力标准值最直接和可靠的方法,故本条文规定一级建(构)筑物地段,应进行复合地基载荷试验。但因复合地基载荷试验的承压板面积大、加载量大,所以试验难度增加,且投资大,对二级建(构)筑物根据重要性可用单桩和桩间土的载荷试验成果,按面积置换率的概念进行计算,来确定复合地基承载力标准值。

对三级建(构)筑物由于安全等级较低,不必为此类建(构)筑物单独试验,可用桩土应力比的经验值及天然地基承载力标准值,按本规范中的经验公式(7.0.1-3)计算确定复合地基承载力标准值。

7.0.2 处理后的复合地基承载力设计值,对基础宽度的修正系数取零是为了考虑安全储备,一般意见比较一致。但对基础深度修正系数的取值则规定不一。TGJ79—1991《建筑地基处理技术规范》规定基础深度修正系数取1。关于基础深度修正系数取1,本规定认为:对于淤泥质土、人工填土,以及粘粒含量很高的粘性土来说,由于振冲法只能起置换作用,对桩周土没有挤密作用,桩周土承载力不提高,基础深度修正系数取1是合理的。而对于粘粒含量较少的粘性土和粉土,桩间土有一定的挤密作用,对于粉细砂、细砂以及中砂等,桩间土有很好的挤密作用,深度修正系数取1就过于保守了,将影响基础设计的合理性而造成浪费。

DL5024—1993《火力发电厂地基处理技术规定》规定振冲桩复合地基承载力可按GBJ7—1989《建筑地基基础设计规范》做深度修正。按照这个规定查得粉砂、细砂深度修正系数为3,中砂深度修正系数为4.4。在这样的地层中进行振冲法处理,由于桩间土挤密作用显著,振冲复合地基承载力标准值将会很高,经过深度修正后,振冲复合地基承载力设计值将会更高。采用这个复合地基承载力设计值是偏大的,偏不安全的。鉴于上述分析,在1996年11月13日~11月16日在福建武夷山市召开的本规范送审稿审查会上,由多数专家提出,并经过讨论,最后研究决定:对基础宽度修正系数取0。基础深度修正系数:粘性土取1.00;粉砂、细砂、粉土取1.50;中砂、粗砂、砾砂及碎石土取2.00。

7.0.4 复合地基抗剪强度指标计算公式是根据《地基处理手册》第191页Priebe法经复核后提出的,其中应力集中系数按虎克定律推导而得。

7.0.7 基础外缘设护桩主要起安全保护作用。对条形基础和单独基础设护桩,工程量很大,往往超过主桩工程量,可采用稍微扩大基础面积,增加基础内布桩数量,提高安全系数

加以解决。本规范按建（构）筑物重要性及地基是否抗液化而定。

而对非地震区的箱形基础、筏形基础，由于基础边缘部分碎石桩受力条件差，以及为保证不会导致过大的应力扩散到未经处理的地基，宜在基础外缘设 1 排~2 排护桩。

7.0.8 振冲桩常采用等边三角形布置，由于振冲器在土中传播的振动能量与距离的平方成反比，加固效果随距离增加而逐渐衰减，为了与邻近振冲点的加密范围重合，一般采用等边三角形布桩效果最好，但根据基础形式和需要，对条形或小范围基础，也可采用正方形、矩形或等腰三角形（梅花形）布置。

7.0.9 对振冲置换桩桩距，目前尚无计算公式，只能按 2 倍~3 倍桩径经验值设计。荷载大或原土强度低时，宜取较小间距，反之宜取较大间距。

7.0.10 本规范认为，当复合地基沉降量与下卧软弱层沉降量之和小于或等于建（构）筑物容许沉降量时，即为合理的桩长，这是非常重要的设计思想，不必要通过增加处理深度把变形减少到很小，以免造成浪费。当通过计算，设计桩长超过 18m 或短于 4m 时，采用振冲法便不适宜。对有抗震要求的地基处理，桩长应按 GBJ11—1989《建筑抗震设计规范》的要求进行设计。

另外，也可按下卧软弱层的地基强度确定桩长，设计时应满足式：

$$P_Z + P_{CZ} \leq f_Z$$
$$f_Z = f_k + \eta_d \gamma_0 (D - 0.5)$$

式中： P_Z ——软弱下卧层顶面处的附加压力设计值；

P_{CZ} ——软弱下卧层顶面处的土的自重压力标准值；

f_Z ——软弱下卧层顶面经深度修正后的地基承载力设计值；

f_k ——地基承载力标准值；

D ——基础埋置深度。

振冲密实桩对砂基的主要设计项目是检验它的抗液化能力。对有抗震要求的松砂地基，要根据砂土的颗粒组成、天然密实度、地下水位、建筑物的地震设防烈度、计算振冲处理深度、布点形式、布点间距和挤密标准等因素考虑，其中，处理深度往往是决定处理工作量、进度和费用的关键因素，需根据抗震规范进行综合论证。

7.0.12 桩体填料的选择是振冲桩设计中的重要环节，应坚持就地取材的原则，选料恰当与否，不仅与桩的质量和处理效果有紧密联系，而且直接影响工程造价。填料选择应符合以下条件：

1 宜选择比重大、颗粒粗的材料。如填料颗粒太细或重量太小，则施工时因喷射水向上流动的影响，填料不易下沉。

2 填料纯净，粘粒杂质含量较少（不大于 5%），以保证桩体良好的透水性。

3 填料颗粒有足够的强度，在外荷载作用下不致于压碎，故规定采用硬质材料。

4 填料应有良好的水稳定性和抗腐蚀性，长期浸泡地下水中不致软化或崩解。

在满足上述条件下，填料应就地取材，以减少运输费用和劳力。

7.0.13 处理层表面指基础底面以下、碎石垫层底部标高处。挖掉处理层表面以上 1.00m~1.50m 桩顶部分，是因为该处上覆压力小，桩体不易密实，故在设计基础底部高程和考虑施工费用时，应考虑这一情况。

7.0.14 基底下碎石垫层的作用：一方面可作为复合地基排水通道，加速桩间土的固结，

提高桩间土的强度；另一方面可以同时起到扩散应力的作用，使基础底面压力均匀分布到桩与桩间土上。所以，在桩距较小时，碎石垫层厚度可选用小值，桩距较大时，碎石垫层厚度需选用大值。

垫层施工质量按承载力要求，用压实系数 λ_c 进行控制，以便于控制质量。

8 原 体 试 验

8.0.1 由于振冲法地基处理设计目前还处于半理论、半经验状态，复合地基的计算方法在理论上还不够成熟，使用经验也不够丰富，目前，尚难以准确计算复合地基的承载力及压缩模量。另外振冲处理复合地基作为一种人工地基，处理效果与振冲处理施工工艺、地质条件有很大关系。因此，对发电厂这样的重要工程，采用振冲法处理地基时，应进行地基处理原体试验，通过试验确定处理效果，提出合理的设计和施工参数，以保证设计方案的合理和施工质量。

8.0.3 试验场地的地质资料是原体试验设计的依据，试验工作的布置（如处理深度、柱间距、桩径等），取决于处理层的埋藏条件和物理力学性质等地质条件（当然还应考虑建筑物对地基的要求）。如果缺乏地质资料，盲目进行试验，就难以取得理想的试验效果，甚至导致试验失败。

8.0.4 由于地基处理后需经一定时间固结排水，强度才能恢复，故试验场地施工后，应有一定的恢复期才能进行复合地基载荷试验。由于处理地层的岩性不同，其固结排水（超孔隙水压力消散）、强度恢复的时间也不同。根据已有的工程资料，确定了各类土振冲处理后的强度恢复期，规定期限大约相当于强度恢复到 80% 的标准。

8.0.5 一级建（构）筑物一般不推荐做多桩复合地基载荷试验，因为压载大、时间长、造价高，所以本规范文中提出有条件时可做。

一级建（构）筑物单桩复合地基载荷试验数量规定为 4 个，主要考虑到电厂地基处理桩数多，一般碎石桩数量可达 10000 根~20000 根，为确保地基载荷试验一次成功，故数量有所增加。当 3 个载荷试验的极差满足要求时，也可以不做第 4 根桩试验。

8.0.6 检验的主要目的是了解桩及桩间土的密实度，同时选定合理的施工检测手段。一般采用重型动力触探、标准贯入、静力触探、跨孔波速及十字板剪力试验等检测方法和手段。

对可液化地基，应选定标准贯入方法进行检验。

9 施 工

9.0.1 做好施工准备工作是保证工程顺利进行的先决条件，本条中的几项规定是对施工准备的要求，应在施工前逐项落实，现分述如下：

1~2 施工单位应掌握施工场地的地质资料，了解振冲处理范围内地层分布情况，当所得到的资料不能满足要求时，应向建设单位索取所需资料。

3 配套机具主要包括起吊设备、排污泵、配电盘、水泵等。目前常用的起吊设备有吊车和自行井架两种。

4 施工组织设计是施工过程的总则,其编制需详细、严密、内容齐全。

5 施工现场应做到三通一平,即水通、电通、料通及场地平整。

1) 水通:一方面要保证施工中所需水量,另一方面要把施工中产生的泥水开沟引排。压力水由水泵送出通过胶管送入各个振冲器的水管,每个振冲器上设置一个阀门按需随时调节水量。各施工点产生的泥水通过明沟集中引入沉淀池,沉淀池中余下比较清的水还可重复使用,而浓泥浆应设法挖除运走。

2) 电通:施工中需要三相四线电源,以解决施工机械和照明用电。三相电压稳定标准为 $380\text{V} \pm 20\text{V}$,电压过高或过低将会影响施工质量或损坏电机。

3) 料通:在施工区附近设置若干个堆料场,料场的位置应使料场到各施工点运距最近,另一方面要防止运料路线影响施工作业。

4) 场地平整:一方面要清理平整场地,当地表土强度很低时,可以铺设适当厚度的垫层,以利施工机械的行走;另一方面应清除地上和地下影响施工的障碍物,如无法清除,则应在施工图中标明,以便采取相应措施。

6 泥浆排泄系统应布置合理,以利于尽快将泥水排出施工场地。除保证施工顺利进行外,还有利于复合地基强度的恢复,并确保施工场地的整洁,对环境无不利影响。

7 坐标控制点由建设单位提供,并应设置在不受振动、不易践踏的部位,以确保桩位的准确度。

9.0.2 在造孔制桩中还可能存在如下问题,说明如下:

1 造孔过程中,有时会出现未达到设计深度而电流值急剧升高的现象,其原因主要是地层中存在厚度不大的硬夹层,此时加大水压即可通过;另外,地层中存在孤石、砖块或其他障碍物,此时,应探明情况,会同监理方和设计方处理。

2 在施工中因地层原因,有时会出现缩径或塌孔等现象,可采用调整水压和留振时间来处理。处理缩径的方法有加大水压,反复提拉振冲器并适当放慢造孔速度,在缩径处延长留振时间。对塌孔则要分析原因。塌孔一般都发生在砂土地基中,不太严重时可控制水量,保持孔内有足够的护壁水,并尽量避免孔内水位产生猛升猛降现象。如塌孔严重,则应填加粘性土泥浆护壁;如塌孔影响填料,可在振冲器外加设下料套管,通过套管填料。

3 第一次填料后,振冲深度应达到设计桩底深度,通过填料挤密下卧层,弥补土层被扰动的缺陷。经第一次填料振冲后,桩孔深度如仍达原来深度甚至继续加深,且电流不见升高时,说明下面地层软弱,应立即把振冲器提起,继续填料振冲,如此反复进行,达到密实电流时为止。

9.0.3 本条介绍的几种施工顺序是工程中常用的方法,每种方法都有其优缺点,详述如下:

1 排孔法在施工中供水、排浆、供料比较方便,不易漏桩,工作效率高,但由于地基一边已处理,一边未处理,振冲器易向土质松软的方向偏斜。

2 跳打法可避免桩体产生大的偏斜,但填料和排水都有一定的困难,易漏桩,应特别注意。

3 帷幕法可使制桩时振动能量的损失减少,从而获得更好的处理效果,但施工中易造成中间地形隆起。

10 监 理

10.0.1 振冲法地基处理属于隐蔽施工，监理单位应具有国家或电力主管部门核定的岩土工程监理资质。现场监理人员应熟悉该工程的地质勘测、原体试验资料，了解和掌握设计图纸内容及要求。监理人员宜具有与振冲施工相关的勘测、试验、设计和施工经验。

10.0.2 监理大纲应包括以下主要内容：

- 1 工程概况；
- 2 监理工作的范围、内容及权限；
- 3 监理工作方法及工作程度；
- 4 现场监理机构及人员配置；
- 5 现场监理制度。

监理实施细则应包括以下主要内容：

- 1 地质概况及地基处理方案；
- 2 工程的质量控制目标及设计要求；
- 3 监理的技术依据；
- 4 各工序技术质量要求；
- 5 工程质量检查、验收评定标准及程序。

10.0.3 振冲法地基处理监理工作，应围绕以下重点环节：

1 协助业主参加对施工单位的考查，应就其设备条件、人员素质、质量保证体系、资质及业绩、信誉状况等方面提出监理考查意见。

2 对施工单位提交的施工组织设计或施工方案进行审核，重点对其技术、质量保证措施提出监理审查意见。

3 正式开工前，监理人员应复测、抽检施工坐标控制点及桩位放线。对于每个建筑地段必须实测场地标高，根据设计图纸的桩长要求，检查、核对振冲导杆的长度是否能满足桩长要求，以确保基础开挖后的有效桩长。

4 本条强调了对到场的设备进行一致性检验。振冲桩的质量是靠多个施工参数保证的，这些施工参数又是通过设备、仪表的性能及精度来确定的。比如振密电流指示，其确切的含义应为振密电流值加上振冲器的空载电流。通过逐台检验，对空载电流误差较大的振冲器应该修定其施工总振冲密实电流参数，以保证有效加密电流。设备检验具体内容如下：

- 1) 检验振冲器的空载电流。对误差较大的应调整其施工振密电流，严重者应停止施工。
- 2) 检验吊机的升降速度，应满足要求。
- 3) 检验电流表的显示精度，采用钳型电表检查输入端电缆。
- 4) 检验控制留振时间、振密电流的自动报警装置的延时及达到预定电流指示的准确性。
- 5) 检验装载填料机具的容量（翻斗车、装载机、小推车等）。
- 6) 检验水泵压力表的标定证明。
- 7) 检验振冲器导管的连接长度、垂直度及深度标志。

8) 检验排浆设施的性能。

5 振冲填料材质的检验主要指填料的风化程度、粒径、级配及含泥量,应满足 7.0.12 的要求。杜绝不符合要求的填料用于施工的现象发生。

6 对于振冲地基施工应采取跟班作业、旁站监理。现场监督检查的重点应是成孔深度、填料量及各项控制参数的执行情况,防止偷工减料、弄虚作假。

7 地层的局部变化、孔位偏移、桩间距过小、留振时间过长等均可能导致串桩现象的发生,致使已完成的桩体坍塌破坏。遇此情况应迅速查明原因,采取措施,及时对串桩进行重新振密处理,不允许事后处理。

8 监理检查施工单位的质量保证措施,对于施工单位的质量自检及检测单位的抽检,监理人员应现场监督,了解和掌握第一手资料。

9 本条强调了现场监理人员除上述日常工作外,还应亲自做施工记录,掌握第一手资料以核实施工单位记录的真实性、可靠性及质量意识。

10.0.4 本条对振冲地基竣工验收的程序和内容做了基本规定,由谁牵头组织验收,可依监理合同的约定而定。

10.0.5 监理工作报告是振冲法地基处理施工的重要技术文件,主要包括:

1 工程概况应包括工程地点、名称、规模、施工范围、工程量、工程特点、工程的地质条件、设计与施工方案简介、施工单位概况和开竣工时间等。

2 监理工作内容、范围、方法及程序。

3 监理工作总结应包括施工进度情况及监理三大目标的控制情况,宜按分项或分施工情况编写。

4 工程质量检测与分析包括概述检测、试验方法、抽检原则及数量,各分项工程的抽检情况、资料整理及成果分析。

11 检 测

11.0.1 振冲法处理地基属复合地基,处理后的地基能否满足设计要求,需要进行处理效果的检验和检测。检测工作具有双重作用,一是对施工过程中发现的问题及时进行检验指导并改进施工方法,二是检测成果将用来作最终施工质量的评价,所以检测点既不能均匀布置,也不能全部或大部用于检验施工中的薄弱点,应兼顾三方面的要求统筹考虑和部署。

11.0.2 本条推荐了振冲法处理地基检测常用的几种方法,除重型动力触探方法外,其他手段均为事后检验。为寻求振冲处理施工质量的可控性,本条提出可采用重型动力触探手段进行施工过程的跟踪检测。通过重型动力触探击数检测桩体的密实度来指导施工。西柏坡电厂工程曾进行了桩体重型动力触探时间效应的试验。试验证明:成桩后几小时与成桩后 10d~20d 后的触探击数无明显差异。说明由于锤头直径相对桩体直径甚小,击数一般不受桩周土恢复期的影响,这样可通过及时的触探检验,提前掌握桩体的振密效果,以达到质量预控的效果。重型动力触探击数的控制标准可参照原体试验时击数标准制定,在无原体试验情况下,也可借鉴其他工程。

重型动力触探用于桩体密实度的检测,带有普查性,抽检数量不宜太少,本条规定抽检数量应为总桩数的 2%~4%,是为了便于根据不同工程情况灵活掌握,当施工条件复杂,

施工质量不稳定时，可适当增加检测数量。

11.0.3 振冲法处理地基检测数量应根据建筑物等级、检测方法及检测目的分别确定。

对于重要建筑物的检测应以能够定量评价的方法为主。本条规定一级建（构）筑物及复杂场地应采用单桩复合地基载荷试验，每个建筑物地基的试验点数不应少于 2 点。对于布桩数量很多，比如主厂房这样的大型建筑物，可具体划分为汽机机座、煤仓间、锅炉等几个单元，按以上原则布置试验点。

采用其他方法如静力触探、标准贯入、跨孔波速试验等，必须注意其应用条件。对于桩间土有挤密效果的振冲处理地基宜采用上述方法，否则意义不大。这些方法可作为复合地基载荷试验的辅助手段，用于定性评价处理效果。用于消除液化的振冲地基，可采用标准贯入和跨孔波速试验方法进行地基液化的定量评价。
