

山东省工程建设标准



DB37/T 5140 — 2019

J 14708 — 2019

水泥土插芯组合桩复合地基技术规程

Technical specification for composite foundation
with composite pile of reinforced jet-mixing cement

2019 – 06 – 03 发布

2019 – 10 – 01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

前 言

本规程是根据《山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局关于印发〈2017年山东省工程建设标准制订、修订计划（第一批）〉的通知》（鲁建标字〔2017〕17号）的要求，由山东省建筑科学研究院、中铁十四局集团有限公司会同有关单位共同编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了水泥土插芯组合桩复合地基的工程实践经验，组织了大量的课题研究，吸纳了有关科研成果，并参考了国内外有关标准，广泛征求了有关方面的意见，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程共分为6章和4个附录，主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、设计、施工、质量检验与工程验收。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东省建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请反馈至山东省建筑科学研究院（地址：山东省济南市天桥区无影山路29号；邮政编码：250031）。

本 规 程 主 编 单 位：山东省建筑科学研究院

中铁十四局集团有限公司

本 规 程 参 编 单 位：山东省建筑设计研究院

山东同圆设计集团有限公司

东营市建筑设计研究院

德州市建诚勘察设计审查有限公司

德州市建筑规划勘察设计研究院

山东华科规划建筑设计有限公司

菏泽城建建筑设计研究院有限公司

滨州建筑工程施工图审查中心
济南市工程质量与安全生产监督站
滨州市建设工程质量监督站
菏泽市建设工程质量检测中心
青建集团股份有限公司
山东天齐置业集团股份有限公司
山东三箭建设工程管理有限公司
青岛地矿岩土工程有限公司
山东建科特种建筑工程技术中心

本规程主要起草人员：宋义仲 李秀东 程海涛 卜发东
刘其贤 万淑红 张树胜 米春荣
朱 锋 韩振林 谢志敏 高传印
韩春刚 吴书义 刘立明 李建业
袁 昆 肖华锋 王俊增 谢瑞祥
闫 君 李占先 张维汇 张玉明
杨洪涛 陈德刚 公茂奖 惠畦国
孟 炎 高 英 李文洲 孙九鹏
李建明 田英杰

本规程主要审查人员：刘俊岩 孙剑平 高 峰 丁尚辉
刘正银 林定权 郑全明 王基文
邢庆毅

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	6
4	设计	8
4.1	一般规定	8
4.2	水泥土插芯组合桩的选型与布置	8
4.3	承载力计算	8
4.4	沉降计算	11
4.5	稳定性验算	13
4.6	构造要求	13
5	施工	15
5.1	施工准备	15
5.2	施工机械	15
5.3	施工作业	16
5.4	施工安全和环境保护	18
6	质量检验与工程验收	19
6.1	一般规定	19
6.2	施工前检验	19
6.3	施工中检验	19
6.4	施工后检验	20
6.5	工程验收	21
附录 A	施工记录表	23
附录 B	施工前质量检验标准	24

附录 C 施工中质量检验标准	25
附录 D 施工后质量检验标准	26
本规程用词说明	27
引用标准名录	28
附：条文说明	29

1 总 则

1.0.1 为了在水泥土插芯组合桩复合地基工程中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水泥土插芯组合桩复合地基的设计、施工、质量检验与验收。

1.0.3 水泥土插芯组合桩复合地基的设计与施工，应综合分析场地工程地质与水文地质条件、上部结构类型和基础形式、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境，遵循因地制宜、节约资源、保护环境的原则，强化工程质量控制与管理。

1.0.4 水泥土插芯组合桩复合地基的设计、施工、质量检验与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 水泥土插芯组合桩 composite pile of reinforced jet-mixing cement

由高喷搅拌法形成的水泥土桩与同心植入的芯桩复合而形成的桩。

2.1.2 高喷搅拌法 jet-mixing method

采用高压浆液形成高速喷射流束，冲击、切割、破碎地层土体，并由搅拌机具将水泥浆等材料与地基土强制搅拌的施工方法。

2.1.3 芯桩 prefabricated concrete pile inserted into cement soil

同心植入水泥土中的混凝土预制桩。

2.1.4 水泥土插芯组合桩复合地基 composite foundation with composite pile of reinforced jet-mixing cement

以水泥土插芯组合桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.5 成桩工艺性试验 piling process test

为验证岩土工程条件适应性、成桩机械性能，确定相关施工工艺及参数和施工措施而进行的成桩施工。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

M_S ——滑动力矩；

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值；

p_{Ek} ——相应于地震作用效应标准组合时，基础底面处的平均压力值；

p_{Ekmax} ——相应于地震作用效应标准组合时，基础底面边缘的最

大压力值；

p_k ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值；

p_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力值；

p_z ——相应于荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值；

Δp_i ——第 i 层复合土层或土的平均附加应力增量；

s ——复合地基沉降量；

s_1 ——组合段复合土层压缩变形量；

s_2 ——非组合段复合土层压缩变形量；

s_3 ——加固区下卧土层压缩变形量；

σ_c ——土的自重应力；

σ_z ——土中竖向附加应力。

2.2.2 抗力和材料性能

E_{cor} ——芯桩桩体压缩模量；

E_{cpi} ——水泥土插芯组合桩组合段桩体压缩模量；

E_{pi} ——第 i 层桩体水泥土压缩模量；

E_{si} ——第 i 层土的压缩模量；

E_{spli} ——组合段第 i 层复合土层的复合压缩模量；

E_{sp2i} ——非组合段第 i 层复合土层的复合压缩模量；

f_a ——修正后的复合地基承载力特征值；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值；

f_c ——芯桩混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{cu} ——龄期为 28d 时的桩身水泥土抗压强度；

f_{sk} ——桩间土承载力特征值；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值；

M_R ——抗滑力矩；

q_{pk} ——极限端阻力标准值；

q_{sik} ——第 i 层土的极限侧阻力标准值；

Q_{uk} ——水泥土插芯组合桩极限承载力标准值；

R_a ——水泥土插芯组合桩承载力特征值。

2.2.3 几何参数

A_{cor} ——芯桩横截面面积；

A_{cs} ——芯桩周围的水泥土横截面面积；

A_p ——水泥土插芯组合桩桩身横截面面积；

b ——方形芯桩边长；

d ——圆形芯桩直径；

D ——水泥土插芯组合桩直径；

D_e ——单桩分担的处理地基面积的等效圆直径；

l ——芯桩长度；

l_i ——芯桩长度范围内第 i 层土的厚度或计算深度范围内第 i 层复合土层或土的厚度；

L_i ——水泥土插芯组合桩长度范围内第 i 层土的厚度；

u_p ——芯桩周长；

U ——水泥土插芯组合桩的周长；

Z_n ——沉降计算深度。

2.2.4 计算系数

K ——安全系数；

K_s ——稳定安全系数；

m ——面积置换率；

m_{cor} ——芯桩横截面面积与组合段水泥土插芯组合桩桩身横截面面积之比；

n_0 ——芯桩与水泥土的应力比；

β_p ——水泥土插芯组合桩承载力修正系数；

β_s ——桩间土承载力修正系数；

ξ ——芯桩-水泥土界面剪切强度标准值与对应位置水泥土强度换算系数；

ξ_a ——地基抗震承载力调整系数；

Ψ ——施工工艺系数；

Ψ_{s1} ——组合段复合土层压缩变形量计算经验系数；
 Ψ_{s2} ——非组合段复合土层压缩变形量计算经验系数；
 Ψ_{s3} ——下卧土层压缩变形量计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 水泥土插芯组合桩复合地基适用于素填土、淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土地基。

3.0.2 水泥土插芯组合桩复合地基设计与施工前应按国家现行有关标准进行岩土工程勘察，查明各土层的类型及工程性质、地下水条件及腐蚀性。

3.0.3 当无同类工程经验时，应针对拟处理深度范围内主要土层进行室内水泥土配合比试验。

3.0.4 对于无同类工程经验和复杂地质条件的场地，应在场地有代表性的区域进行成桩工艺性试验。

3.0.5 对于采用水泥土插芯组合桩复合地基的工程，应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定进行沉降观测。

3.0.6 对于全生命期内采用建筑信息模型的工程，水泥土插芯组合桩复合地基各相关方应提交满足要求的数据信息。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 水泥土插芯组合桩复合地基设计前，应具备下列基本资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 场地环境条件资料；
- 3 上部结构和基础设计资料；
- 4 地基处理的目的、处理范围和处理要求；
- 5 施工条件资料。

4.1.2 水泥土插芯组合桩复合地基应满足承载力、变形和稳定性要求，其设计尚应符合下列规定：

1 当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算；

2 对承受较大水平荷载或位于斜坡上的建筑物及构筑物，应进行复合地基稳定性验算。

4.1.3 水泥土插芯组合桩复合地基宜按上部结构、基础、地基共同工作的原理进行设计。

4.1.4 水泥选用应符合下列规定：

- 1 宜选用普通硅酸盐水泥；
- 2 水泥强度等级宜为 42.5 级或以上；
- 3 水泥掺量不宜小于被加固土质量的 12%，特殊情况时应根据设计水泥土强度通过试验确定。

4.2 水泥土插芯组合桩的选型与布置

4.2.1 水泥土插芯组合桩的选型应符合下列规定：

- 1 水泥土桩直径不应小于 500mm；

- 2 芯桩直径或边长不应小于 300mm;
 - 3 水泥土桩直径与芯桩直径或芯桩外接圆直径之差,应根据环境类别、承载力要求、桩侧土性质综合确定,但不宜小于 200mm,且水泥土桩直径与芯桩直径或边长之比不宜大于 3.0;
 - 4 芯桩长度宜为水泥土桩长度的 0.67 倍~1.00 倍;
 - 5 芯桩宜选用混凝土预制管桩、空心方桩、实心方桩;
 - 6 芯桩混凝土强度等级不应低于 C40。
- 4.2.2 水泥土插芯组合桩的布置应符合下列规定:**
- 1 水泥土插芯组合桩可只在基础范围内布置;
 - 2 水泥土插芯组合桩的中心与基础边缘的距离不宜小于 $0.5D$,且不小于芯桩直径或边长;
 - 3 水泥土插芯组合桩桩间距应根据基础形式、设计要求、土质条件及周边环境综合确定,不宜小于 $4.0d$ 或 $4.0b$,且不宜小于 $2.5D$;
 - 4 宜选择中、低压缩性土层作为水泥土插芯组合桩桩端持力层,桩端全断面进入持力层的长度应大于 $1.5D$;当存在软弱下卧层时,桩端以下持力层厚度不宜小于 $3D$ 。

4.3 承载力计算

4.3.1 作用在水泥土插芯组合桩复合地基上的压力应符合下列规定:

1 荷载效应标准组合

轴心荷载作用下

$$p_k \leq f_a \quad (4.3.1-1)$$

偏心荷载作用下,除应满足式 (4.3.1-1) 外,尚应满足下式的要求:

$$p_{kmax} \leq 1.2f_a \quad (4.3.1-2)$$

2 地震作用效应标准组合

轴心荷载作用下

$$p_{Ek} \leq \xi_a f_a \quad (4.3.1-3)$$

偏心荷载作用下，除应满足式（4.3.1-3）外，尚应满足下式的要求：

$$p_{Ek\max} \leq 1.2\xi_a f_a \quad (4.3.1-4)$$

式中： p_k ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

$p_{k\max}$ ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力值（kPa）；

p_{Ek} ——相应于地震作用效应标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

$p_{Ek\max}$ ——相应于地震作用效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力值（kPa）；

f_a ——修正后的复合地基承载力特征值（kPa）；

ξ_a ——地基抗震承载力调整系数，可根据桩间土类别按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定。

4.3.2 计算修正后的复合地基承载力特征值时，应符合下列规定：

1 基础宽度的地基承载力修正系数应取 0；

2 埋置深度的地基承载力修正系数可取 1.0。

4.3.3 水泥土插芯组合桩复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验确定，初步设计时可按下列公式估算：

$$f_{spk} = \beta_p m R_a / A_p + \beta_s (1 - m) f_{sk} \quad (4.3.3-1)$$

$$m = D^2 / D_e^2 \quad (4.3.3-2)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

f_{sk} ——桩间土承载力特征值（kPa）；

R_a ——水泥土插芯组合桩承载力特征值（kN）；

A_p ——水泥土插芯组合桩桩身横截面面积（m²）；

m ——面积置换率；

β_p ——水泥土插芯组合桩承载力综合调整系数，无经验时可取 0.9~1.0；

β_s ——桩间土承载力综合调整系数，无经验时可取 0.8~1.0；

D ——水泥土插芯组合桩直径 (m)；

D_e ——一根水泥土插芯组合桩分担的处理地基面积的等效圆直径 (m)。

4.3.4 水泥土插芯组合桩承载力特征值应通过静载荷试验确定，初步设计时，由桩周土和桩端土所提供的水泥土插芯组合桩承载力特征值可按下列公式估算：

$$R_a = \frac{Q_{uk}}{K} \quad (4.3.4-1)$$

$$Q_{uk} = U \sum q_{sik} L_i + q_{pk} A_p \quad (4.3.4-2)$$

式中： Q_{uk} ——水泥土插芯组合桩极限承载力标准值 (kN)；

K ——安全系数，一般取 2；

U ——水泥土插芯组合桩的周长 (m)；

q_{sik} ——第 i 层土的极限侧阻力标准值 (kPa)，无地区经验时，可取泥浆护壁钻孔桩极限侧阻力标准值的 1.5 倍~1.6 倍；

L_i ——水泥土插芯组合桩长度范围内第 i 层土的厚度 (m)；

q_{pk} ——极限端阻力标准值 (kPa)，无地区经验时，可取泥浆护壁钻孔桩极限端阻力标准值的 0.8 倍。

4.3.5 由桩身材料强度确定的水泥土插芯组合桩承载力特征值不应小于由桩周土和桩端土所提供的承载力特征值，初步设计时，可按下列公式估算，并取其中的较小值：

$$R_a \leq \frac{\psi f_{cu}}{2.2} (n_0 A_{cor} + A_{cs}) \quad (4.3.5-1)$$

$$R_a \leq \frac{\psi f_c}{1.35} \left(A_{cor} + \frac{A_{cs}}{n_0} \right) \quad (4.3.5-2)$$

$$R_a - \frac{U \sum q_{sik} l_i}{K} \leq \frac{f_{cu} A_p}{2.2} \quad (4.3.5-3)$$

$$R_a \leq \frac{\xi f_{cu} u_p l}{K} \quad (4.3.5-4)$$

式中： f_{cu} ——龄期为 28d 时的桩身水泥土抗压强度 (kPa)，可取与桩身水泥土配比相同的室内水泥土试块（边长为 70.7mm 的立方体）在标准养护条件下 28d 龄期的立方体抗压强度平均值的 0.6 倍；

n_0 ——芯桩与水泥土的应力比，无地区经验时，可取芯桩与水泥土弹性模量之比；

A_{cor} ——芯桩横截面面积 (m^2)；

A_{cs} ——芯桩周围的水泥土横截面面积 (m^2)；

Ψ ——施工工艺系数，可取 0.85；

f_c ——芯桩混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值；

l_i ——芯桩长度范围内第 i 层土的厚度 (m)。

ξ ——芯桩-水泥土界面剪切强度标准值与对应位置水泥土强度换算系数，可取 0.15；

u_p ——芯桩周长 (m)；

l ——芯桩长度 (m)。

4.3.6 复合地基受力层范围内存在软弱下卧层时，应按下式进行下卧层承载力验算：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (4.3.6)$$

式中： p_z ——相应于荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值 (kPa)；

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值 (kPa)；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值 (kPa)。

4.4 沉降计算

4.4.1 水泥土插芯组合桩复合地基变形计算值不应大于地基变

形允许值，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

4.4.2 水泥土插芯组合桩复合地基沉降量应由组合段复合土层压缩变形量、非组合段复合土层压缩变形量、加固区下卧土层压缩变形量组成，可按下列公式计算：

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (4.4.2-1)$$

$$s_1 = \Psi_{s1} \sum \frac{\Delta p_i}{E_{sp1i}} l_i \quad (4.4.2-2)$$

$$s_2 = \Psi_{s2} \sum \frac{\Delta p_i}{E_{sp2i}} l_i \quad (4.4.2-3)$$

$$s_3 = \Psi_{s3} \sum \frac{\Delta p_i}{E_{si}} l_i \quad (4.4.2-4)$$

$$E_{sp1i} = mE_{cpi} + (1 - m)E_{si} \quad (4.4.2-5)$$

$$E_{sp2i} = mE_{pi} + (1 - m)E_{si} \quad (4.4.2-6)$$

$$E_{cpi} = m_{cor}E_{cor} + (1 - m_{cor})E_{pi} \quad (4.4.2-7)$$

式中： s ——复合地基沉降量（mm）；

s_1 、 s_2 、 s_3 ——组合段、非组合段复合土层、加固区下卧土层压缩变形量（mm）；

Δp_i ——第 i 层复合土层或土层的平均附加应力增量（kPa）；

l_i ——计算深度范围内第 i 层复合土层或土层的厚度（m）；

E_{sp1i} 、 E_{sp2i} ——组合段、非组合段第 i 层复合土层的复合压缩模量（MPa）；

E_{si} ——第 i 层土层的压缩模量（MPa）；

E_{cpi} ——竖向增强体组合段桩体压缩模量（MPa）；

E_{pi} ——第 i 层桩体水泥土压缩模量（MPa），可取桩体水泥土强度的 100 倍～200 倍；

E_{cor} ——芯桩桩体压缩模量（MPa），可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定确定；

Ψ_{s1} 、 Ψ_{s2} ——组合段、非组合段复合土层压缩变形量计算经验系数，无地区经验时，可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行；

Ψ_{s3} ——下卧土层压缩变形量计算经验系数，无地区经验时，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行；

m_{cor} ——芯桩横截面面积与竖向增强体组合段桩身横截面面积之比。

4.4.3 沉降计算深度 Z_n 应大于复合土层的深度，可按应力比法确定，即计算深度处的附加应力 σ_z 与土的自重应力 σ_c 应符合下式要求：

$$\sigma_z \leq 0.1\sigma_c \quad (4.4.3)$$

式中： σ_z ——土中竖向附加应力（kPa）；

σ_c ——土的自重应力（kPa）。

4.5 稳定性验算

4.5.1 水泥土插芯组合桩复合地基整体滑动稳定性验算采用圆弧滑动法时，最危险滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩的比值应满足下式要求：

$$\frac{M_R}{M_S} \geq K \quad (4.5.1)$$

式中： K ——稳定安全系数，不应小于 1.30；

M_R ——抗滑力矩（kN·m）；

M_S ——滑动力矩（kN·m）。

4.5.2 竖向增强体的抗剪强度指标可按桩体断裂后滑动面材料的摩擦性能确定。

4.6 构造要求

4.6.1 桩身水泥土抗压强度不应低于 1.0MPa。

4.6.2 芯桩上下节拼接宜采用焊接或机械连接，接头数量不宜超过 1 个，接头质量可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

4.6.3 水泥土插芯组合桩复合地基与基础之间应设置褥垫层，并应符合下列规定：

1 褥垫层宜采用中砂、粗砂、级配砂石和碎石，最大粒径不宜大于 20mm；

2 褥垫层厚度可取 150mm~300mm，且不宜小于芯桩直径或边长的 0.5 倍；

3 褥垫层设置范围宜大于基础范围，每边超出基础外边缘的宽度宜为 200mm~300mm。

5 施 工

5.1 施 工 准 备

5.1.1 水泥土插芯组合桩复合地基施工应具备下列资料：

- 1 建筑场地岩土工程勘察报告；
- 2 复合地基施工图及图纸会审纪要；
- 3 建筑场地和相邻区域内的建筑物、地下管线、地下构筑物 and 架空线路等的调查资料；
- 4 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- 5 施工组织设计；
- 6 水泥等原材料质量证明文件；
- 7 芯桩的质量证明文件及相关技术参数说明；
- 8 有关施工工艺参数的试验资料。

5.1.2 施工前应清除地下和空中障碍物并完成三通一平。平整后的施工作业面标高应高出水泥土插芯组合桩复合地基设计标高不小于 1.0m。

5.1.3 复合地基轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的位置，并妥善保管，施工中应定期复测。

5.1.4 施工前应对水泥土插芯组合桩施工机械及其配套设备进行试运行，并对主要技术参数进行标定。

5.2 施 工 机 械

5.2.1 水泥土插芯组合桩施工应根据设计要求、地基条件、周边环境情况选用整体式施工机械或组合式施工机械。

5.2.2 水泥土桩施工机具应具有高压喷射与机械搅拌功能。

5.2.3 水泥土桩施工主要配套设备应符合下列规定：

- 1 注浆泵的压力、流量应满足施工要求，额定压力不应小

于设计最大压力的 1.5 倍；

2 空气压缩机的供气量和额定排气压力不应小于设计最大值的 1.5 倍；

3 水泥浆搅拌机、储浆桶的性能应满足需浆量、浆液搅拌均匀的施工要求。

5.2.4 应根据设计文件、岩土工程勘察报告、施工场地周边环境情况选用适宜的芯桩施工机械。

5.3 施 工 作 业

5.3.1 施工单位应按复合地基施工图进行桩位放样并填写放线记录，桩位放样允许偏差应为 10mm，经监理单位或建设单位复核确认后方可开工。

5.3.2 桩位点应设有不易破坏的明显标记，并应在施工时进行桩位复核。

5.3.3 水泥土插芯组合桩施工工艺应按下列流程进行：

1 高喷搅拌法施工水泥土桩：

- 1) 水泥土桩施工机械就位、桩机调平；
- 2) 制备水泥浆；
- 3) 高喷搅拌钻进下沉；
- 4) 高喷搅拌提升；
- 5) 复搅复喷。

2 在水泥土桩中同心植入芯桩：

- 1) 采用整体式施工机械时，旋转或移动桩架，芯桩定位；
- 2) 采用组合式施工机械时，移走水泥土桩施工机械，芯桩施工机械就位、桩机调平；
- 3) 在水泥土初凝前，沉桩、接桩，送桩至设计标高。

3 移位，进行下一根桩施工。

5.3.4 水泥浆应按设计水灰比进行制备，并应符合下列规定：

1 应配置在检定或校准有效期内的计量仪器，对水与水泥的用量进行计量；

- 2 应选用能实现水灰比自动控制的制浆工艺；
- 3 水泥浆搅拌时间不应少于 2min，并应过筛后使用，自制备至用完的时间不应超过 2h；
- 4 施工过程中应测量水泥浆密度，测量次数不应少于 1 次/根。

5.3.5 水泥土桩施工除应符合现行行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 水泥土桩施工参数应根据成桩工艺性试验确定，并在施工过程中进行控制；
- 2 水泥用量应通过调整水泥浆压力与流量、钻杆提升速度、复搅复喷次数进行控制，且应符合设计要求；
- 3 桩身深度范围内每米的搅拌次数宜大于 300 次；
- 4 施工中钻杆垂直度允许偏差应为 1%；
- 5 对桩顶、芯桩底端及需要提高强度或增加喷搅次数的部位应采取复搅复喷措施；
- 6 停浆面高出桩顶设计标高不应小于 500mm，桩径、桩长不应小于设计值。

5.3.6 水泥土桩施工后应按下列规定留置试件：

- 1 宜采取尚未凝固的水泥土浆液制作水泥土试块；
- 2 每个施工台班留置试件不应少于 2 组，每组试件应留 6 件，试件尺寸应为 70.7mm×70.7mm×70.7mm；
- 3 单组试件应取自同一根竖向增强体，取样位置应为桩顶设计标高以下；
- 4 试件应养护 28d，其中应有 1 组同条件养护、1 组标准养护。

5.3.7 芯桩施工应符合下列规定：

- 1 采用组合式施工机械时，施工前应清除水泥土桩施工后的地面返浆；
- 2 垂直度允许偏差应为 0.5%；
- 3 定位允许偏差为 10mm；

- 4 芯桩植入水泥土桩中时应采取监控预防措施；
 - 5 接桩时应保证接桩质量和上下节段的桩身垂直度；
 - 6 桩顶标高允许偏差应为 $\pm 50\text{mm}$ 。
- 5.3.8 水泥土插芯组合桩施工记录应按本规程附录 A 填写。
- 5.3.9 桩顶水泥土宜平整、密实，并和芯桩、桩间土顶面标高一致。

5.4 施工安全和环境保护

5.4.1 水泥土插芯组合桩复合地基施工时，应在危险源辨识基础上采取相应的安全技术措施，并应符合下列规定：

- 1 桩机的安装、试运行和拆除应按机械使用说明书的要求进行；
- 2 施工前应对注浆泵、空气压缩机、高压水龙头和供水、供气、供浆管路系统进行安全检查；
- 3 施工过程中，应经常检查机械设备及防护设施的运转情况，当发生异响、吊索具破损、紧固螺栓松动、漏油、漏浆、漏气、停电以及其他异常情况时，应立即停机检查，排除故障；
- 4 桩机行走时，地面的平整度与坚实度应符合要求，并应有专人指挥；
- 5 遇恶劣天气时，应暂停施工并切断电源；
- 6 施工完成后应在桩位处设置防护措施。

5.4.2 水泥土插芯组合桩复合地基施工时，应有明确的环境保护管理目标、组织机构、控制措施，并应符合下列规定：

- 1 应采取措施对施工机械进行降噪处理；
- 2 水泥运输、水泥浆制备应采取覆盖、封闭等防扬尘措施；
- 3 废弃水泥浆应处理后排放；
- 4 地面返浆应及时清理并集中堆放；
- 5 机械设备维修保养、管路清洗产生的废油、废水应集中处理。

6 质量检验与工程验收

6.1 一般规定

6.1.1 水泥土插芯组合桩复合地基质量检验按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工中检验和施工后检验。

6.1.2 质量验收应按一般项目 and 主控项目验收。

6.1.3 水泥土插芯组合桩复合地基质量检验主控项目应包括水泥及外掺剂质量、水泥用量、水泥土强度、桩长、桩径、桩数、芯桩桩身完整性、单桩承载力、复合地基承载力。

6.2 施工前检验

6.2.1 施工前应对水泥、外掺剂、芯桩、接桩用材料等产品质量进行检验。

6.2.2 施工前应对施工机械设备及性能进行检查。

6.2.3 施工前应对桩位进行检验。

6.2.4 施工前质量检验内容与标准应符合本规程附录 B 的规定。

6.3 施工中检验

6.3.1 成桩工艺性试验应采用轻型动力触探或浅部开挖的方法对水泥土桩的形态大小、胶结情况、水泥土均匀程度进行检验。

6.3.2 水泥土插芯组合桩中的水泥土桩施工时应检查桩位放样偏差、水泥用量、浆液压力、水压、气压、水灰比、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度、垂直度、桩底标高。

6.3.3 水泥土插芯组合桩中的芯桩施工时应检查植入情况：桩长、垂直度、接桩质量、接桩上下节平面偏差、接桩停歇时间、桩顶标高。

6.3.4 施工中水泥土插芯组合桩施工质量检验内容与标准应符合本规程附录 C 的规定。

6.3.5 施工过程中应按本规程第 6.3.4 条的规定对每根桩进行质量控制，对不符合预定质量要求的桩，经监理单位确认后报设计单位进行处理。

6.4 施工后检验

6.4.1 开挖至基底设计标高后应进行施工验槽，并应检查水泥土插芯组合桩的桩数、桩位偏差、桩径、桩顶标高。

6.4.2 施工完成后的复合地基应进行竖向增强体和复合地基承载力检验、桩身质量检验。

6.4.3 竖向增强体承载力检验应符合下列规定：

- 1 检验数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 根；
- 2 检测桩顶标高不应高于桩周土标高；
- 3 检测时宜在桩顶铺设粗砂或中砂找平层，厚度宜取 20mm~30mm；
- 4 找平层上的刚性承压板直径应与水泥土插芯组合桩的设计直径相一致；
- 5 对直径不小于 800mm 的竖向增强体，荷载-沉降曲线呈缓变型时，极限承载力可取 s/D 等于 0.05 对应的荷载值。

6.4.4 复合地基承载力检验应符合下列规定：

- 1 检验数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 点；
- 2 当压力-沉降曲线为平缓的光滑曲线时，可取沉降与承压板宽度或直径（当承压板宽度或直径大于 3.0m 时，可按 3.0m 计算）的比值为 0.008~0.01 所对应的压力作为复合地基承载力特征值。

6.4.5 桩身质量除对预留水泥土试件进行无侧限抗压强度检验外，尚应进行芯桩桩身完整性检测。

6.4.6 当水泥土强度有异常时，桩身水泥土实体强度可在桩顶浅部钻取芯样验证，检测桩数不应少于总桩数的 5%，且不得少

于 6 根。

6.4.7 芯桩桩身完整性检测可采用低应变法，应符合下列规定：

- 1 检测桩数不应少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根；
- 2 桩身完整性判定时，应考虑水泥土对实测信号的影响，当实测信号复杂、无规律，且无法对其进行合理解释时，宜结合其他检测方法进行。

6.4.8 褥垫层质量检验应符合下列规定：

- 1 褥垫层厚度允许偏差不应大于 $\pm 20\text{mm}$ ；
- 2 褥垫层夯填度不应大于 0.9；
- 3 每单位工程检验数量不应少于 3 点，且每 100m^2 至少应有 1 点。

6.4.9 施工后水泥土插芯组合桩复合地基施工质量检验内容与标准应符合本规程附录 D 的规定。

6.5 工程验收

6.5.1 开挖至基底设计标高后，在施工单位自检合格的基础上，建设单位应会同勘察、设计、施工、监理等单位进行水泥土插芯组合桩复合地基施工质量验收。

6.5.2 水泥土插芯组合桩复合地基施工质量验收应包括下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告、复合地基施工图、图纸会审纪要、设计变更；
- 2 经审批的施工组织设计、技术交底及变更单；
- 3 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；
- 4 芯桩的出厂合格证、相关质量证明文件、进场验收记录；
- 5 水泥等其他材料的质量证明文件、见证取样文件及复验报告；
- 6 施工记录及施工单位自查评定报告；
- 7 隐蔽工程验收资料；

- 8 工程质量事故及事故调查处理资料；
- 9 地基承载力、芯桩桩身完整性、水泥土强度检测报告；
- 10 复合地基竣工平面图；
- 11 其他必须提供的文件或记录。

附录 A 施工记录表

表 A.0.1 施工记录表

工程名称:

施工单位:

桩机型号与编号:

水泥品种:

[illegible]

施工单位项目技术负责人:

质检员:

监理工程师 (建设单位项目技术负责人):

附录 B 施工前质量检验标准

表 B.0.1 施工前质量检验标准

项	序	检查项目		允许偏差或允许值	检查方法	
主控项目	1	水泥及外掺剂质量		符合出厂及设计要求	检查产品合格证和抽样送检	
一般项目	1	施工机械设备及性能		符合出厂及设计要求	检查设备标定记录	
	2	桩位放样（mm）		10	检查放线记录	
	3	芯桩	外观质量	无蜂窝、露筋、裂缝，色感均匀，桩顶处无空隙	直观	
	4		桩长	按设计要求	用钢尺量	
	5		桩体弯曲（mm）	$1‰l$	用钢尺量	
	6		管桩	直径（mm）	± 5	用钢尺量
	7			壁厚（mm）	≤ 5	用钢尺量
	8			桩尖中心线 mm）	2	用钢尺量
	9			端部倾斜	$0.5‰d$	用水平尺量
	10		空心方桩	边长（mm）	$+4$ -2	用钢尺量
	11			桩顶对角线之差（mm）	≤ 5	用钢尺量
	12			内径（mm）	0 -20	用钢尺量
	13			最小壁厚（mm）	$+10$ 0	用钢尺量
	14			端部倾斜	$0.4‰b$	用水平尺量
	15		实心方桩	边长（mm）	$+4$ -2	用钢尺量
	16			桩顶对角线之差（mm）	≤ 5	用钢尺量
	17			端部倾斜	$0.5‰b$	用水平尺量
	18	接桩用材料		符合出厂及设计要求	检查产品合格证或抽样送检	

注：1 d 为管桩直径， b 为空心方桩和实心方桩边长；

2 l 为芯桩长度。

附录 C 施工中质量检验标准

表 C.0.1 施工中质量检验标准

项	序	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	1	水泥用量	按设计要求	检查施工记录
	2	桩长	不小于设计值	测钻杆长度
一般项目	1	浆液压力	按施工组织设计要求	检查施工记录
	2	水压	按施工组织设计要求	检查施工记录
	3	气压	按施工组织设计要求	检查施工记录
	4	水灰比	按施工组织设计要求	检查施工记录
	5	钻杆下沉/提升速度	按施工组织设计要求	检查施工记录
	6	钻杆旋转速度	按施工组织设计要求	检查施工记录
	7	水泥土桩垂直度 (%)	1	经纬仪测量或线锤测量
	8	芯桩垂直度 (%)	0.5	经纬仪测量或线锤测量
	9	芯桩桩顶标高 (mm)	±50	水准测量
	10	接桩质量	满足设计或规范要求	按设计或规范要求
	11	接桩上下节平面偏差 (mm)	10	用钢尺量
	12	焊接接桩停歇时间 (min)	>5	用表计量

附录 D 施工后质量检验标准

表 D.0.1 施工后质量检验标准

项	序	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	1	复合地基承载力	不小于设计值	静载荷试验
	2	单桩承载力	不小于设计值	静载荷试验
	3	桩数	按设计要求	现场清点
	4	桩径	不小于设计值	用钢尺量
	5	水泥土强度	按设计要求	28d 试块强度或 钻芯取样送检
	6	芯桩桩身完整性	—	低应变法
一般项目	1	桩位	满堂布桩时, $\leq 0.4D$ 条基布桩时, $\leq 0.25D$	用全站仪及钢尺量
	2	桩顶标高 (mm)	± 50	水准测量
	3	褥垫层夯填度	≤ 0.9	水准测量
	4	褥垫层厚度 (mm)	± 20	水准测量

注: D 为水泥土插芯组合桩直径。

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，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《建筑变形测量规范》 JGJ 8
- 4 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 5 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 6 《水泥土复合管桩基础技术规程》 JGJ/T 330

山东省工程建设标准

水泥土插芯组合桩复合地基技术规程

DB37/T 5140 — 2019

条 文 说 明

制 定 说 明

《水泥土插芯组合桩复合地基技术规程》DB37/T 5140 — 2019，由山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局于 2019 年 6 月 3 日以鲁建标字〔2019〕15 号通知批准、发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛和深入的调查研究，总结了已有的工程经验，同时参考了国外先进技术标准，通过试验，取得了大量重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水泥土插芯组合桩复合地基技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	32
2	术语和符号	33
2.1	术语	33
2.2	符号	34
3	基本规定	35
4	设计	37
4.1	一般规定	37
4.2	水泥土插芯组合桩的选型与布置	38
4.3	承载力计算	39
4.4	沉降计算	45
4.5	稳定性验算	46
4.6	构造要求	46
5	施工	47
5.1	施工准备	47
5.2	施工机械	47
5.3	施工作业	48
5.4	施工安全和环境保护	54
6	质量检验与工程验收	55
6.1	一般规定	55
6.2	施工前检验	55
6.3	施工中检验	55
6.4	施工后检验	56
6.5	工程验收	59

1 总 则

1.0.1 水泥土插芯组合桩是通过一定的施工工艺，将具有特定匹配关系的水泥土桩和混凝土预制桩等两种单体桩同心复合而形成的新型组合桩。该技术可有效改善桩的荷载传递途径、提高承载力及刚度、减小沉降，性价比高、绿色环保，并已列入《建筑业 10 项新技术（2017 版）》。

为使该技术的设计、施工、检验与验收规范化，便于推广应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 水泥土插芯组合桩复合地基主要用于工业与民用建筑、构筑物等工程。市政、公路、铁路、港口、水利、电力、石化等工程可参考使用，但尚应符合有关行业标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 水泥土插芯组合桩是基于水泥土桩和混凝土预制桩两种桩型的特点提出的一种新型组合桩，由作为芯桩使用的混凝土预制桩、包裹在芯桩周围的水泥土桩优化匹配复合而成（图 1）。

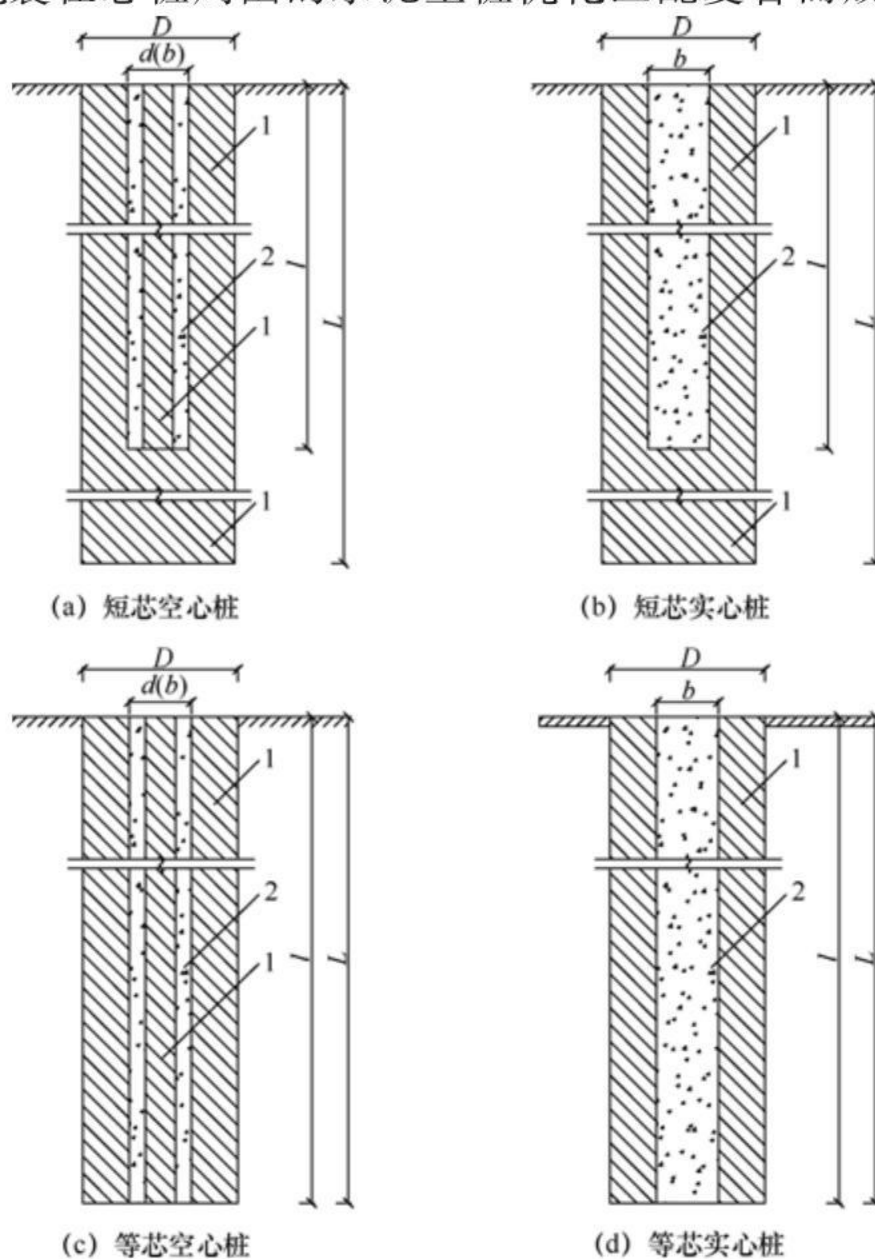


图 1 水泥土插芯组合桩

1—水泥土；2—芯桩

本规程中，芯桩长度不宜大于水泥土桩长度，分为短芯、等芯两种情况；芯桩可采用空心桩、实心桩。

根据桩身材料组合情况，短芯水泥土插芯组合桩可以分为组合段和非组合段，其中组合段是指上部有芯桩段，非组合段是指芯桩底端以下的水泥土桩段；对于等芯桩，全桩长范围内均为组合段，无非组合段。

水泥土桩由高喷搅拌法施工，水泥土初凝前通过静压或振动等方式同心植入混凝土预制桩，施工速度快，无挤土效应，不产生泥浆。

水泥土插芯组合桩由水泥土桩和混凝土预制桩优化匹配复合而成，可充分发挥水泥土桩桩侧摩阻力和混凝土预制桩桩身材料强度，具有承载力高、沉降小、性价比高、绿色环保等特点。

2.1.2 高喷搅拌法综合了高压喷射法与搅拌法两种工艺的优点。由高压水或高压浆液形成高速喷射流束，冲击、切割、破碎地层土体，同时采用搅拌翅等强制搅拌水泥浆液与地基土，可有效控制桩身的均匀性、成桩直径，返浆量小，提高了施工效率。

2.1.3 芯桩一般采用混凝土预制桩，可选用管桩、空心桩方桩、实心方桩等。

2.1.4 水泥土插芯组合桩复合地基由作为竖向增强体使用的水泥土插芯组合桩、桩间土和褥垫层构成。本规程中竖向增强体均是指水泥土插芯组合桩，而不是芯桩。

2.2 符 号

2.2.3 设计计算时，不考虑芯桩植入时对水泥土桩直径的挤扩作用，水泥土插芯组合桩直径与水泥土桩直径相等，为等直径桩。

D 表示水泥土插芯组合桩直径，等于水泥土桩直径。

3 基本规定

3.0.1 水泥土插芯组合桩由水泥土桩与同心植入的芯桩构成，施工工艺包括水泥土桩施工与芯桩植入两个步骤，其材料性能、施工方法决定了该技术可用于淤泥、淤泥质土、素填土、粉土、黏性土、砂土等土层，尤其适用于软弱土层。

对于以下 4 种情况，应通过现场和室内试验确定其适用性：

- (1) 冲填土、含有大量植物根茎或有机质含量较高的土；
- (2) 具有中—强腐蚀性的场地；
- (3) 地下水渗流影响成桩质量的场地；
- (4) 含有坚硬夹层。

3.0.2 岩土工程勘察时，应重点查明对水泥土插芯组合桩成桩质量、施工效率有影响的岩土参数。

本条规定水泥土插芯组合桩复合地基工程的岩土工程勘察时应查明土层的胶结状态，主要是指局部姜石、碎（卵）石是否相互胶结成为凸镜体或薄夹层。当遇有这种土层时，应通过现场试验确定水泥土插芯组合桩复合地基的适用性。

土层的工程性质包括土层的分布、含水率、密实度、颗粒组成、胶结状态、塑性指数、有机质含量、pH 值等。

地下水条件包含地下水水位、流速、层数、赋存方式等内容。地下水 pH 值、水和土腐蚀性是选择水泥、外掺剂、芯桩时应考虑的重要因素。

3.0.3 当无水泥土插芯组合桩或水泥土桩工程经验时，设计前宜针对拟处理深度范围内主要土层进行室内水泥土配合比试验，选择合适的水泥、外掺剂。

室内水泥土配合比试验可按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233 的有关规定执行。

3.0.4 成桩工艺性试验的目的是：验证地层条件适应性；确定实际成桩步骤、浆液压力、水压、气压、水灰比、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等工艺参数；了解钻进阻力及植桩情况并采取相应措施。

成桩工艺性试验应综合考虑场地地层分布情况、上部荷载、拟采用桩参数等，选择有代表性场地进行，试验桩的直径、长度等参数应符合设计要求。

水泥土插芯组合桩中的水泥土桩工艺性试验可先采用喷水的方法初步确定工艺参数，在此基础上再采用喷水泥浆的方法并宜植入芯桩。

成桩工艺性试验时应详细记录不同时间或深度处对应的施工参数值，并采用开挖、井径仪、取芯等方法检验成桩质量，为选择施工机械、确定相关施工工艺及参数和施工措施提供详尽的资料。

3.0.5 对于采用水泥土插芯组合桩复合地基的工程，应根据现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 及设计要求进行沉降观测。

3.0.6 影响水泥土插芯组合桩复合地基工程质量的因素很多，需要进行全过程控制。对于全生命期内采用建筑信息模型的工程，水泥土插芯组合桩复合地基勘察、设计、施工、监理等相关方应提交满足任务要求与对方需求的数据信息，以便于控制工程质量。建筑信息模型相关要求可参照现行国家标准《建筑信息模型应用统一标准》GB/T 51212。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 岩土工程勘察报告应符合本规程第 3.0.2 条的规定。

场地环境条件资料包括：交通设施、地上及地下管线、地下构筑物的分布；相邻建（构）筑物安全等级、基础形式及埋置深度；周围建（构）筑物的防振、防噪声的要求；返浆排放条件；工程所在地区的抗震设防烈度和场地类别。

施工条件资料包括：施工机械设备条件，动力条件，施工工艺对地层条件的适应性；水、电及有关工程材料的供应条件；施工机械进出场及现场运行条件。

当附近有类似工程时，尚应收集类似工程的设计、施工、监测资料，包括：附近类似地层条件场地的水泥土插芯组合桩、水泥土桩的设计与施工参数、试桩资料、工程桩施工资料、变形监测资料等。

4.1.3 复合地基是通过一定的沉降量使竖向增强体和桩间土共同承担荷载，设计中要考虑基础刚度对复合地基破坏模式、承载力和沉降的影响，重视上部结构、基础、地基的共同作用。

4.1.4 水泥品种、强度等级及掺量对水泥土桩的质量至关重要，应根据工程要求确定。宜优先选用 42.5 级及以上的普通硅酸盐系列水泥。

对于特殊工程条件下，例如粉土或砂土层，试验证明水泥土强度能够达到设计要求时，可适当降低水泥掺量或在桩长范围内按照变掺量进行设计。

4.2 水泥土插芯组合桩的选型与布置

4.2.1 水泥土插芯组合桩在竖向荷载作用下的工作机理为：芯桩承担的大部分荷载通过芯桩-水泥土界面传递至水泥土桩，然后再通过水泥土-土界面传递至桩侧土，芯桩、水泥土桩、桩侧土构成了由刚性向柔性过渡的结构。作为芯桩与桩侧土之间的过渡层——“水泥土”不宜太薄，否则无法保证水泥土插芯组合桩有效工作。包裹在芯桩周围的水泥土还起到了保护层作用，改善了芯桩的耐久性。另外，“水泥土”也不宜太厚，否则性价比有所降低。综合考虑水泥土插芯组合桩复合地基承载力机理、所处环境类别、施工偏差、垂直度偏差等因素，水泥土桩直径与芯桩外接圆直径之差不应小于 200mm，水泥土桩直径与芯桩直径或边长之比不宜大于 3.0。

芯桩底端以下的水泥土桩为柔性～半刚性桩，存在临界桩长，其长度随着水泥土桩直径与水泥土强度的增加而增大。芯桩相当于水泥土桩中的配筋，其长度不宜小于总桩长的 $2/3$ 。对变形控制要求较高的工程、桩底端土质较差、抗震作用时，芯桩可与水泥土桩等长，但不宜超过水泥土桩长度（图 1）。

混凝土预制管桩可选用预应力高强混凝土管桩（PHC）、预应力混凝土管桩（PC）、预应力混凝土薄壁管桩（PTC）、混合配筋管桩（PRC）；空心方桩可选用预应力高强混凝土空心方桩（PHS）、预应力混凝土空心方桩（PS）。

4.2.2 竖向增强体单桩竖向抗压静载荷试验、单桩复合地基静载荷试验表明，桩侧土沉降均随着至桩心距离的增大而迅速减小（图 2），距离桩心 $2.5D$ 处桩侧土沉降约为桩顶沉降的 $1\% \sim 2\%$ 。这说明至桩中心 $2.5D$ 范围内桩、土影响较明显，超出该距离后影响较小甚至可以忽略。

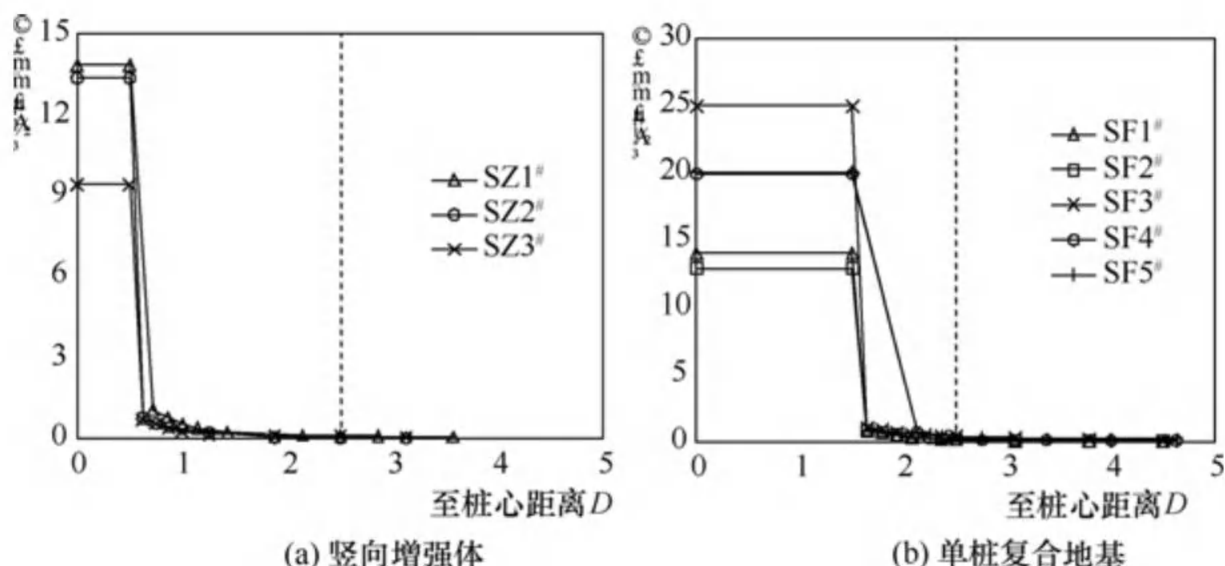


图 2 桩侧土影响范围

4.3 承载力计算

4.3.1 水泥土插芯组合桩复合地基由竖向增强体和桩间土复合而成，可以按照天然地基的要求验算轴心荷载和偏心荷载作用下的地基承载力，即满足式（4.3.1-1）、式（4.3.1-2）的规定。实际应用时，应考虑到复合地基与天然地基的差别，特别是非均匀布桩时基础底面抵抗矩的不同，控制偏心荷载作用下竖向增强体和桩间土最大受力均不大于其特征值的 1.2 倍。

对于复合地基抗震承载力，有两种计算方法：参照天然地基的抗震承载力计算方法，根据桩间土类别给出复合地基抗震承载力调整系数；参照复合基桩的抗震承载力计算方法，根据竖向增强体和桩间土的抗震承载力调整系数分别计算两者的抗震承载力，然后按照面积置换率法计算复合地基抗震承载力。水泥土插芯组合桩复合地基一般用于软弱土地基处理，桩间土承载力一般较低，按照第一种方法计算的复合地基抗震承载力偏于安全，这也是本规程采用的计算方法。

4.3.3 竖向增强体、桩间土承载力综合调整系数宜考虑复合地基中竖向增强体、桩间土实际承载力及其发挥程度，结合工程经验取值。

一根水泥土插芯组合桩分担的处理地基面积的等效圆直径

D_e 可按下列公式计算：

(1) 等边三角形布桩时

$$D_e = 1.05a \tag{1}$$

(2) 正方形布桩时

$$D_e = 1.13a \tag{2}$$

(3) 矩形布桩时

$$D_e = 1.13\sqrt{a_1a_2} \tag{3}$$

式中： a ——桩间距（m）；

a_1 ——纵向桩间距（m）；

a_2 ——横向桩间距（m）。

4.3.4 为保证水泥土插芯组合桩复合地基设计的可靠性，竖向增强体承载力特征值应采用竖向增强体单桩竖向抗压静载荷试验确定，并应重视类似工程、邻近工程的经验。初步设计时可采用经验公式估算竖向增强体承载力，并按本规程第 4.3.5 条验算桩身材料强度。

当采用经验公式进行估算时，极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值应由静载荷试验结果统计分析求得。当无试验资料时极限侧、端阻力标准值可根据岩土工程勘察报告或现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的泥浆护壁钻孔桩极限侧、端阻力标准值乘以提高或折减系数得到。

根据搜集到的测试资料（表 1），参照现行行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330，水泥土插芯组合桩极限侧阻力标准值可取泥浆护壁钻孔桩极限侧阻力标准值的 1.5 倍～1.6 倍，水泥土插芯组合桩极限端阻力标准值可取泥浆护壁钻孔桩极限端阻力标准值。

表 1 极限侧阻力标准值

土的名称	土的状态	q_{sik} (kPa)
填土	—	30～42
淤泥	—	18～28
淤泥质土	—	30～42

续表 1

土的名称	土的状态	q_{sik} (kPa)
黏性土	$I_L > 1$	38~58
	$0.75 < I_L \leq 1$	58~80
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	80~102
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	102~126
	$0 < I_L \leq 0.25$	126~144
	$I_L \leq 0$	144~152
粉土	$e > 0.9$	36~64
	$0.75 \leq e \leq 0.9$	64~94
	$e < 0.75$	94~124
粉细砂	稍密	34~70
	中密	70~96
	密实	96~130

济南黄河北试验基地水泥土插芯组合桩、灌注桩、水泥土桩极限端阻力实测结果表明：水泥土插芯组合桩底端总阻力约占桩顶荷载的 12%，与灌注桩的 15% 接近，大于水泥土桩的 6%；水泥土插芯组合桩端阻力平均值约为灌注桩的 1.2 倍，为水泥土桩的 6.3 倍。这说明水泥土插芯组合桩荷载传递性状与灌注桩类似，设计时水泥土插芯组合桩极限端阻力标准值可近似取泥浆护壁钻孔灌注桩的极限端阻力标准值。为偏于安全，无当地经验时，本条规定水泥土插芯组合桩极限端阻力标准值 q_{pk} 可取泥浆护壁钻孔桩极限端阻力标准值的 0.8 倍。

4.3.5 竖向荷载作用下，水泥土插芯组合桩桩顶、芯桩底端、芯桩-水泥土界面是受荷最大或桩身结构薄弱位置，应重点对这三个位置进行验算。

在极限荷载作用下，水泥土插芯组合桩桩头呈现水泥土-芯桩渐进破坏、芯桩-水泥土渐进破坏等两种破坏模式，分别采用式 (4.3.5-1)、式 (4.3.5-2) 验算桩身材料强度。常用选型条件下，芯桩桩身混凝土强度等级大于等于 C60 时，水泥土强度是桩身结构承载力控制性条件，采用式 (4.3.5-1) 进行验算；

芯桩桩身混凝土强度等级小于 C60 时，芯桩桩身混凝土强度是桩身结构承载力的控制性条件，采用式（4.3.5-2）进行验算。当复合地基承载力进行深度修正时，水泥土插芯组合桩桩身材料强度应按基底压力验算。

当芯桩长度小于水泥土桩长度时，芯桩底端材料强度确定的水泥土插芯组合桩承载力特征值采用式（4.3.5-3）计算；芯桩-水泥土界面剪切强度确定的水泥土插芯组合桩承载力特征值采用式（4.3.5-4）计算。

根据国家现行标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》GB 50199、《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233、《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 的有关规定，本规程中将水泥土立方体抗压强度平均值作为水泥土抗压强度标准值使用，其材料性能分项系数取 1.6。

基于桩身取芯与室内配比试验，研究了耕土、粉质黏土、粉土、粉细砂、粉砂等土质条件下高喷搅拌水泥土桩桩身水泥土强度与室内相同配比试块强度的关系：水泥掺入比为 20% 时，桩身水泥土强度均大于室内配比水泥土强度，其比值为 1.29~3.23，平均值为 1.86；水泥掺入比为 27% 时，桩身水泥土强度均大于室内配比水泥土强度，其比值为 1.01~3.73，平均值为 1.63；水泥掺入比为 35% 时，桩身水泥土强度略小于室内配比水泥土强度，其比值为 0.84~1.01，平均值为 0.94；水泥土强度比值随着水泥掺入比的增加而略有减小，随深度增加而略有增大。大量的深层搅拌桩实测资料也表明，水泥掺入比为 13.5%~20% 时，桩体强度与室内配比水泥土强度的比值一般为 0.44~0.87。由于高喷搅拌水泥土桩桩身搅拌均匀，桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度的比值宜高于深层搅拌桩相应值，结合高喷搅拌水泥土强度实测值，高喷搅拌水泥土桩桩身水泥土强度与室内配比水泥土强度的比值可取 0.6。

芯桩与水泥土的应力比可采用水泥土应力测试、芯桩应力测试的方法确定，具体方法如下：

(1) 水泥土应力测试宜选用振弦式土压力计及与之相匹配的频率仪。

(2) 土压力计量程应大于最大加载时水泥土应力预估值的 1.2 倍，频率仪分辨力应优于或等于 1Hz。

(3) 土压力计应在静载荷试验前埋设在桩顶水泥土中，并应符合下列规定：

1) 土压力计宜均匀对称埋设在环状水泥土中部，数量不应少于 2 个；

2) 土压力计埋设槽宜为圆形，宜大于土压力计外形尺寸 20mm~30mm；

3) 土压力计底部宜铺设厚度为 20mm~30mm 的中砂或细砂找平层，土压力计周围空隙应采用中砂或细砂填充；

4) 土压力计顶面和水泥土桩顶面应齐平。

(4) 静载荷试验前，应读记土压力计初始数据，不应少于 3 次；每加一级荷载前后均应各读记土压力计数据一次，以后每 30min 读记一次。

(5) 芯桩应力测试宜选用电阻应变计及与之相匹配的电阻应变仪。

(6) 电阻应变仪应具有多点自动测量功能，分辨力应优于或等于 $1\mu\epsilon$ 。

(7) 电阻应变计应在芯桩施工前粘贴在桩身上，并应符合下列规定：

1) 电阻应变计应均匀对称设置在桩顶以下 1 倍桩径或边长处，数量不应少于 2 个；

2) 电阻应变计及其连接电缆应采取防潮绝缘防护措施，系统绝缘电阻不应低于 200M Ω 。

(8) 静载荷试验前，应读记电阻应变计初始数据，不应少于 3 次；每加一级荷载前后均应各读记电阻应变计数据一次，以后每 5min 读记一次。

(9) 采用振弦式土压力计测量时，应根据率定系数将土压力

计的实测频率换算成应力值；采用电阻应变计测量时，应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定进行导线电阻修正。

(10) 数据处理时，应删除异常测点数据，并取各测点平均值。

(11) 桩顶处芯桩与水泥土的应力比应按下列公式计算：

水泥土应力测试时

$$n_0 = \frac{(Q_i - A_{cs}\sigma_{cs})/A_{cor}}{\sigma_{cs}} \quad (4)$$

芯桩应力测试时

$$n_0 = \frac{\sigma_{cor}}{(Q_i - A_{cor}\sigma_{cor})/A_{cs}} \quad (5)$$

二者同时测试时

$$n_0 = \frac{\sigma_{cor}}{\sigma_{cs}} \quad (6)$$

式中： Q_i ——施加在桩顶的第 i 级荷载（kN）；

σ_{cs} ——水泥土应力（kPa）；

σ_{cor} ——芯桩应力（kPa）。

承载力特征值对应荷载作用下，芯桩与水泥土共同变形。当无实测值或地区经验时，芯桩与水泥土应力比可取二者弹性模量之比。搜集到的试验资料表明，当水泥土强度为 1.0MPa～5.0MPa 时，水泥土弹性模量近似取水泥土无侧限抗压强度的 600 倍～1000 倍，水泥土强度高者取高值，反之取低值。

参照现行行业标准《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 有关规定，芯桩施工工艺系数取 0.85。

采用室内剪切试验，研究了管桩、方桩与由粉质黏土、粉土、砂土等拌制的水泥土界面之间的剪切强度。测试结果表明，芯桩-水泥土界面剪切强度可取对应位置水泥土强度的 0.15 倍～0.19 倍。为偏于安全，本规程中芯桩-水泥土界面剪切强度标准值与对应位置水泥土强度换算系数取 0.15。

4.3.6 软弱下卧层顶面处的附加压力可参照相关行业标准的有关规定进行计算。

4.4 沉降计算

4.4.1 沉降变形计算是水泥土插芯组合桩复合地基设计中的一个重要组成部分。当复合地基产生过大沉降变形时，可能影响建（构）筑物正常使用，甚至造成建（构）筑物破坏，危及人们的安全。因此水泥土插芯组合桩复合地基的沉降变形计算值不应大于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定的允许值。

4.4.2 复合地基沉降变形由加固区压缩变形量和加固区下卧土层压缩变形量两部分组成。当水泥土插芯组合桩中的芯桩长度小于水泥土桩长度时，由于芯桩桩体压缩模量远大于水泥土压缩模量，对于加固区压缩变形量，应分别计算组合段复合土层和非组合段复合土层的压缩变形量（图 3）。

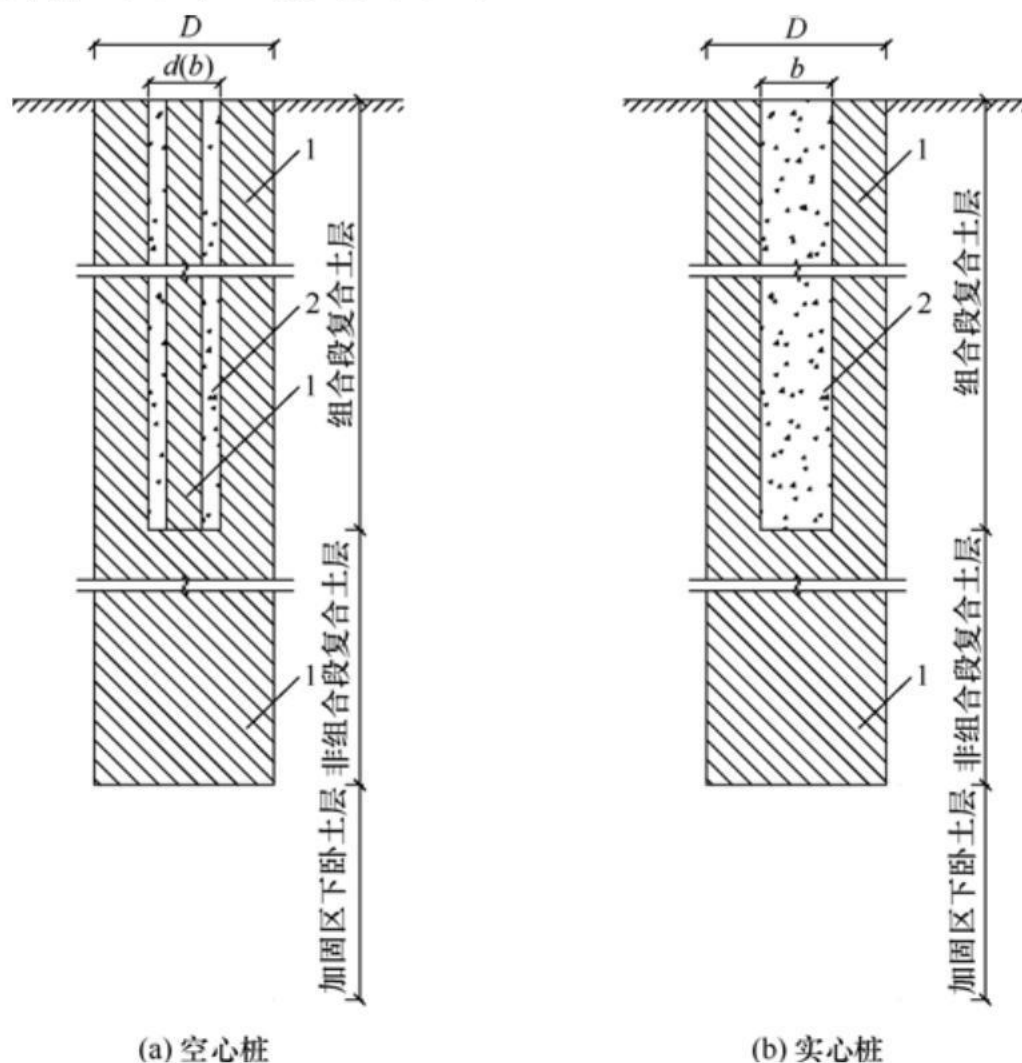


图 3 压缩变形量计算范围

1—水泥土；2—芯桩

组合段复合土层、非组合段复合土层及水泥土插芯组合桩组合段桩体压缩模量均采用面积置换率法计算。其中，芯桩桩体压缩模量可取桩身混凝土弹性模量。

4.4.3 水泥土插芯组合桩复合地基沉降计算深度按应力比法确定，为偏于安全，应计算附加应力与自重应力之比不大于 10% 的深度处，并应大于复合土层深度。

4.5 稳定性验算

4.5.1、4.5.2 地基稳定性验算方法很多，所用计算参数也各不相同。稳定性验算所采用的分析方法、计算参数及确定方法、稳定安全系数应相互配套。

水泥土插芯组合桩复合地基一般用于软弱土地基处理，可采用圆弧滑动法验算地基的整体滑动稳定性。抗滑力矩、滑动力矩计算方法应符合相关行业标准的有关规定。

水泥土插芯组合桩复合地基整体失稳一般是竖向增强体渐进式断裂，并逐渐形成连续滑动面的破坏现象。为确保工程安全，在整体滑动稳定性验算时，假定竖向增强体完全断裂，按滑动面材料的摩擦性能确定抗剪强度指标。

4.6 构造要求

4.6.1 水泥土插芯组合桩中的水泥土和芯桩共同承担上部荷载，水泥土强度应符合本规程第 4.3.5 条的规定，并且桩身水泥土抗压强度不应低于 1.0MPa。

4.6.2 为了保证水泥土插芯组合桩施工质量，应在水泥土桩施工完成后及时植入芯桩，尽量缩短桩机挪动、接桩时间等，因此选择桩长时应考虑芯桩成品长度，控制接头数量不宜超过 1 个。

5 施 工

5.1 施 工 准 备

5.1.2 三通一平是建设项目开工的前提条件，具体指水通、电通、道路通和场地平整。为保证水泥土插芯组合桩复合地基正常施工，施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施，必须在开工前准备就绪。施工场地应平整、密实，无地下和空中障碍物，地基承载力应满足施工机械接地压力的要求。

5.1.3 复合地基轴线的控制点和水准点应设置在稳定、易于长期保存的位置。当有工作基点时，应定期将其与基准点进行联测。

5.1.4 在施工前通过对施工机械及其配套设备的试运行及对流量、浆液压力、水压、气压、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等施工参数的标定，确认现场所有设备能够安全正常运转、施工参数是否满足本规程第 5.2.2、5.2.3 条要求；施工参数由成桩工艺性试验确定。

5.2 施 工 机 械

5.2.1 水泥土插芯组合桩施工机械有整体式与组合式两种，应根据设计文件、岩土工程勘察报告、施工场地周边环境情况选择适宜的水泥土插芯组合桩施工机械。为了提高施工效率及保证成桩质量，宜优先选用整体式施工机械。

整体式施工机械同时具备水泥土桩施工和芯桩施工两种功能。在平行于桩架的钻杆顶端设置高压旋喷水龙头、动力头，钻杆底端设置搅拌翅、水平向喷嘴、钻头，钻杆通过高压旋喷水龙头与喷浆、喷气、喷水系统连接后形成水泥土桩施工机具。在桩架上与水泥土桩施工机具成固定夹角或距离设置芯桩施工机具，

芯桩施工机具可采用振动锤或静力压桩设备。通过旋转或移动桩架先后进行水泥土桩与芯桩的定位及施工。

组合式施工机械由水泥土桩施工机械和芯桩施工机械等两种设备组合而成。水泥土桩施工机械原理与整体式施工机械中的水泥土桩施工机具部分相同；芯桩施工机械可采用静力压桩机。

5.2.2 高喷搅拌法综合了高压喷射与搅拌法两种工艺的的优点，所选用的机具应具有高压喷射与机械搅拌功能，并能够自钻式下沉。

钻具特别是钻杆、钻头形式，应能适应不同的地层条件，提高钻进效率和施工质量。

5.2.3 本条给出了水泥土插芯组合桩中的水泥土桩施工主要配套设备即注浆泵、空气压缩机、水泥浆搅拌机、储浆桶的技术要求。其中浆液压力、水压、气压等设计规定值应按施工组织设计要求确定。

5.2.4 本条给出了芯桩施工机械选择时应考虑的影响因素。

设计文件主要指水泥土插芯组合桩的技术要求，如芯桩型号、桩位、桩顶标高等。

岩土工程勘察报告主要指场地的工程地质条件与水文地质条件。

场地环境条件对施工机械选用的影响主要体现在边桩的施工。当场地狭窄、环境条件复杂、无法将基坑开挖范围加大时，则芯桩施工机械的选择必须考虑边桩的施工能力。

5.3 施 工 作 业

5.3.2 桩位点处设置明显标记及施工时进行桩位复核的目的是：避免漏桩、校验桩位放样偏差。

5.3.3 水泥土插芯组合桩的施工要点在于首先采用高喷搅拌法施工外围水泥土桩，其次为芯桩植入水泥土桩的合理时机应在水泥土初凝前，同时确保芯桩与水泥土桩的同轴度。

水泥土初凝前是指：在该时段内水泥土保持流塑状态，芯桩

同心植入水泥土桩后，不影响水泥土的成桩形态、后期强度以及芯桩-水泥土界面的剪切强度。根据已有的工程经验，在正常施工条件下，水泥土桩施工完成后 2h~3h，水泥土尚未初凝。综合考虑多种因素，推荐芯桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔为 0.5h~1.0h，最大不宜超过 2h。

水泥土插芯组合桩施工过程中出现的一些常见问题可按表 2 进行处理。在施工前应做好有针对性的应急预案，施工过程中根据施工现场实际情况，快速找出原因，并及时采取相应的处理措施，确保水泥土插芯组合桩施工质量。

表 2 施工常见问题处理措施

常见问题	发生原因	处理措施
桩位偏差	定位不准； 施工中垂直度偏差超出规定值	对水泥土桩及芯桩施工采用全站仪或 GPS 定位、复检； 采用线锤或仪器控制水泥土桩与芯桩施工时的垂直度
水泥土桩直径小	浆液压力小； 浆液流量小	调整浆液压力、流量、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、搅拌翅直径等施工参数
桩身水泥土强度达不到设计要求	水泥掺量小； 水灰比大； 搅拌不匀； 局部喷浆量小、喷浆不连续	增大水泥掺量； 减小水灰比； 减小钻杆提升速度、增加搅拌均匀程度及喷浆量、连续喷浆
水泥土断桩	喷浆不连续	恢复供浆后喷头提升或下沉 1.0m 后再行下沉或提升施工，保证接茬
钻进下沉困难、电流值高、跳闸	电压偏低； 土质坚硬，阻力太大； 遇大块石等障碍物； 漏电	调高电压； 加大浆液压力； 更换合适的钻具； 开挖排除障碍物； 检查电缆接头，排除漏电

续表 2

常见问题	发生原因	处理措施
浆液过早用完或剩余过多	供浆管路堵塞、漏浆； 钻杆提升速度过慢或过快； 投料不准、加水量少或过多； 钻进过程耗浆量太大	检修注浆泵及供浆管路； 调整钻杆提升速度； 重新标定投料量及加水量； 减小钻进耗时
注浆泵堵塞， 供浆管路堵塞、 爆裂，喷嘴 堵塞	水泥浆杂质多； 供浆管路内有杂物； 杂物进入喷嘴	增加水泥浆过滤遍数或更换过滤网； 拆洗供浆管路、注浆泵； 检查拆洗喷嘴
注浆泵压力 剧增或剧减	喷浆嘴或注浆管路堵塞； 喷浆嘴或注浆管路漏浆； 喷杆磨损漏浆	拆洗检查； 更换喷杆
注浆泵压力 不稳	注浆泵内进气； 注浆泵内进入硬质颗粒； 注浆泵机械磨损	排除空气； 拆洗检查； 更换磨损件
空气压缩机 不工作	线路或电机出现问题； 喷气嘴堵塞或供气管路 堵塞	检查线路及电机； 检查清洗供气管路、喷气嘴及 钻头内部气腔
水泥浆进入 空气压缩机储 气罐	钻头在地下时气被憋住， 造成回浆	提起钻头，清洗空气压缩机储 气罐
注浆泵压力、 钻杆提升速度 等施工参数与 设计不符	喷嘴直径与设计不符； 供浆管路堵塞； 调速电机控制器出现 问题	检查喷嘴直径； 检查供浆管路； 检查或更换调速电机控制器

续表 2

常见问题	发生原因	处理措施
冒浆多	土质太黏，搅拌不动； 遇硬土或障碍物下沉困难； 浆液流量过大； 喷浆下沉、提升速度小； 水灰比过大	加强搅拌； 清除障碍物； 调整浆液流量； 加大升降速度及喷搅遍数； 减小水灰比
不返气、不返浆	供气、供浆管路堵塞； 下沉过快，上层黏土层封住返气、返浆通道	疏通供气、供浆管路； 降低下沉速度； 提起钻头，待返气、返浆后再行下沉施工
相邻桩附近冒气、冒水	距离施工桩太近； 邻近桩施工完成时间较短	间隔施工； 增加相邻桩施工时间间隔
埋钻	钻头埋置地下较深时， 钻杆停止转动同时不喷气、 不喷浆； 遇流砂等土层	降低钻进速度； 检查电路及设备，防止出现钻杆停止转动等故障； 维修设备时，应将钻杆提至地面
芯桩施工达不到设计标高	芯桩施工与水泥土桩施工完成时间间隔过长； 接桩时间过长； 水灰比小或注浆量少； 压桩力或激振力不足； 桩身偏斜，压入土中； 水泥土不均匀	减少时间间隔； 缩短接桩时间； 增大水灰比或注水搅拌； 加大压桩力或激振力； 确保芯桩位置及垂直度； 增加喷搅次数
芯桩掉入水泥土中	水灰比过大	减小水灰比； 施工时采取控制措施

5.3.4 水泥浆制备应优先采用全自动制浆设备，提高施工效率和控制精度，减少环境污染和工人劳动强度。施工过程中应定期量测水泥浆密度，检查水灰比是否满足要求、计量仪器是否正常

工作。

水泥浆水灰比应根据地层、地下水条件综合确定，可选取 0.6~1.5。

5.3.5 水泥土桩施工参数如浆液压力、气压、水压及流量、喷嘴数量及直径、搅拌翅直径、钻杆下沉与提升速度、钻杆旋转速度等由成桩工艺性试验确定，在施工中应严格控制，不得随意更改。在确保水泥土桩桩顶标高、有效桩长、桩径、垂直度、水泥土强度达到设计要求的前提下，施工单位可根据本工程的施工经验、土质条件等对施工参数作必要的调整。

表 3 列出了部分实际工程的高喷搅拌法水泥土桩施工参数，供参考。

表 3 部分实际工程水泥土桩施工参数

地层条件	素填土、粉土、黏性土、砂土	
施工参数		
空气	压力（MPa）	0.7
	流量（m ³ /min）	1~2
	喷嘴间隙（mm）及个数	1~2（1~4）
浆液	水灰比	0.8~1.2
	压力（MPa）	4~30
	流量（L/min）	35~280
钻头	喷嘴孔径（mm）及个数	2.4~2.8（1~4）
	搅拌翅外径（mm）	350~900
钻杆	钻杆外径（mm）	219、299
	提升速度（cm/min）	20~50
	旋转速度（r/min）	18~23

搅拌次数是保证水泥土质量均匀的重要施工措施，根据工程经验，桩身深度范围内每米的搅拌次数大于 300 次时，桩身水泥土质量能够满足设计要求。

需要提高强度或增加喷搅次数而采取复搅复喷措施的部位一

般指桩顶部位、芯桩底部、塑性指数较高的黏土层以及因故停浆或喷浆不连续的部位等。复搅复喷段长度宜根据作用在桩顶及芯桩底部荷载大小、土质条件、水泥用量、水灰比、浆液流量、提升速度、施工异常情况等因素综合确定。

5.3.6 水泥土桩施工过程中，应在桩顶设计标高以下采取尚未凝固的水泥土浆液制作水泥土试块（一般称为“软取芯法”），并分别进行同条件养护和标准养护 28d。可将试块埋置于桩头附近的地基土中进行同条件养护。

软取芯可按现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 的有关规定执行。

5.3.7 采用组合式施工机械植入芯桩前，应将水泥土桩施工后的桩孔附近返浆清理干净，露出桩顶轮廓，以方便芯桩植入时中心位置的确定。同时应提前架设全站仪及水准仪、芯桩施工设备预就位等。

芯桩垂直度控制对水泥土插芯组合桩成桩质量相当关键，应制定可靠的垂直度控制措施。

采用组合式施工机械时，为保证芯桩与水泥土桩之间的同轴度，在水泥土桩施工结束后宜对芯桩植入位置进行放样定位，定位允许偏差应为 10mm。采用整体式机械时，在水泥土桩施工完成后通过旋转或移动桩架进行芯桩的定位。

在芯桩植入水泥土桩中时允许有少量水泥土挤出，并应采取监控预防措施，如根据监测的植桩情况采取措施防止首节芯桩掉入水泥土桩中。

芯桩接桩有焊接、机械连接两种方式，采用其中任一种连接方式时均应保证接桩质量和上下节段的桩身垂直度。

5.3.8 水泥土插芯组合桩施工应按本规程附录 A 施工记录表的要求进行记录，也可根据工程实际情况对该表格格式进行重新设计，但其包含的施工信息必须齐全。

5.3.9 基槽开挖后，桩顶水泥土应处理平整，露出密实的水泥土。处理后的水泥土顶面标高严禁高于芯桩或桩间土。

5.4 施工安全和环境保护

5.4.1 高压注浆设备是水泥土插芯桩组合桩施工中的重要危险源，所以针对注浆泵、空气压缩机、供浆、供气、供水管路等设备应制定相应安全技术措施，如：对于安全阀要进行施压检验；对于注浆泵、空气压缩机应指定专人管理，一旦发生故障，应及时停泵停机，及时排除故障，并做好运转情况记录。施工过程中必须按设备操作规程进行操作，严禁违规操作。

近年来，大型施工设备施工期间倾覆事故时有发生，多是由于操作不当、施工作业面不平整或地基承载力不足所致。水泥土插芯组合桩施工机械应由专人按照机械使用说明书操作，施工作业面的平整度与坚实度应符合要求，并应有专人指挥。

5.4.2 应根据施工现场的设备噪声等常见环境因素，制定现场环境保护的控制措施。做好水泥运输过程中的防散落与沿途防污染措施；施工场地和运输道路要定期清扫，保持整洁卫生，防治扬尘；采取措施降低施工噪声，尽量减轻噪声扰民。

6 质量检验与工程验收

6.1 一般规定

6.1.1 影响水泥土插芯组合桩复合地基质量的因素存在于施工的全过程中，仅有施工后的检验和验收是不全面、不完整的。如施工过程中出现的局部地质条件与岩土工程勘察报告不符、工程桩施工参数与成桩工艺性试验确定的参数不同、原材料发生变化、设计变更、施工单位变更等情况，都可能产生质量隐患，因此，加强施工过程中的检验是有必要的，应按不同施工阶段进行检验。

水泥土插芯组合桩复合地基质量检验主要包括对水泥土桩施工、芯桩施工、褥垫层施工及施工工序过程的质量检验。

6.1.3 参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《水泥土复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330 相关规定，本条给出了水泥土插芯组合桩复合地基质量检验的主控项目，如水泥及外掺剂质量、水泥用量、水泥土强度、桩长、桩径、桩数、芯桩桩身完整性、单桩承载力、复合地基承载力。

6.2 施工前检验

6.2.1~6.2.4 桩位放样指的是施工前在施工现场进行的桩位放样，有别于水泥土桩施工结束后芯桩施工前的放样定位。

本规程附录 B 中施工机械设备及性能检查涵盖了对注浆泵压力表、调速电机转速表的检查，主要通过本规程第 5.1.4 条的规定来实现，因此检查设备的标定记录即可。

6.3 施工中检验

6.3.1 对于成桩工艺性试验，应通过轻型动力触探或开挖检查

水泥土固结体，可以研究其形态大小、垂直度及胶结情况与施工参数，比如浆液压力及流量、喷嘴直径、钻杆提升速度、钻杆旋转速度等之间的关系，从而确定合理的水泥土桩施工参数。

开挖检查一般在水泥土桩施工 3d 后进行，可沿水泥土固结体周围或一侧进行，开挖深度视土层性质和场地范围确定。

6.3.4 本条给出了水泥土插芯组合桩施工质量检验项目及检验标准，便于在施工期间查明施工参数、工艺方法等是否满足设计要求而开展自检工作。当发现某些指标达不到设计要求时，需要及时采取相应措施，使水泥土插芯组合桩施工质量达到设计要求。

6.3.5 施工过程中要求按单桩进行检验有助于问题得到及时的处理。经监理单位确认后报设计单位进行处理的方法有多种，可以通过桩身完整性或单桩承载力的验证检测；也可以通过有效手段证明确实需要调整施工工艺参数来解决；或通过设计复核计算；对于不合格的桩采取补桩等措施。

6.4 施工后检验

6.4.2 对承载力检验时，水泥土龄期应达到 28d，或受检桩同条件养护水泥土试件强度应达到设计强度要求。

6.4.5 水泥土插芯组合桩中的芯桩和水泥土共同承担上部荷载，且芯桩是主要承力构件。桩身质量检验时，应重点检验水泥土强度和芯桩桩身完整性。

6.4.6 桩顶浅部钻芯法检测水泥土抗压强度时，应符合下列要求：

(1) 每根受检桩的芯样试件数量不应少于 1 组，每组 3 件，取芯深度不应超过 0.5m。

(2) 水泥土取芯时的龄期应不少于 28d。

(3) 钻芯机应具有足够的刚度，操作灵活，固定和移动方便，并应有水冷却系统。

(4) 钻取芯样应根据桩身设计强度选用合适的薄壁合金钢钻

头或金刚石钻头，钻头外径不宜小于 91mm。

(5) 钻芯机安装时宜进行固定，钻芯过程中不应发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度允许偏差应为 0.5%。

(6) 开孔位置至桩中心的距离宜为环状水泥土内、外半径之和的 1/2；当钻芯孔为 2 个或 2 个以上时，开孔位置宜均匀对称布置。

(7) 开孔时宜采用较小的钻头压力，钻芯过程中宜保持匀速钻进，钻进速度宜为 50mm/min~100mm/min。

(8) 提钻卸取芯样时，严禁敲打卸芯。

(9) 在运送和保存过程中，应采取防止芯样受压、震、晒、冻、失水或吸水的措施。

(10) 钻芯孔应采用水泥浆回灌封孔。

(11) 锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置；芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

(12) 芯样试件加工和测量可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行，高径比宜为 1:1，不得有裂缝、松动掉块或其他较大缺陷。

(13) 芯样试件制作完成后，可立即进行抗压强度试验。

(14) 压力试验机应具有加荷速率控制装置，测量精度应为 ±1%，额定最大压力应为试件预估破坏荷载的 1.25 倍~5.00 倍。

(15) 抗压强度试验时，宜以 0.03kN/s~0.15kN/s 的速率均匀、连续地对试件加荷，直至试件破坏后记录破坏荷载，并应精确至 0.01kN。

(16) 芯样试件抗压强度应按下式计算确定：

$$f_{cu} = \frac{4P}{\pi d_{cm}^2} \quad (7)$$

式中： f_{cu} ——芯样试件抗压强度值 (MPa)，精确至 0.01MPa；

P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N)；

d_{cm} ——芯样试件的平均直径 (mm)。

(17) 桩顶浅部水泥土芯样试件抗压强度检测值应取一组 3 块试件强度值的平均值。

(18) 同一受检桩有两组或两组以上水泥土芯样试件抗压强度检测值时，应取其平均值作为该桩桩顶浅部水泥土芯样试件抗压强度检测值。

6.4.7 实测结果表明，随着水泥土龄期的增长，水泥土插芯组合桩中的芯桩桩身完整性低应变检测信号受芯桩-水泥土耦合效应的影响明显（图 4）。

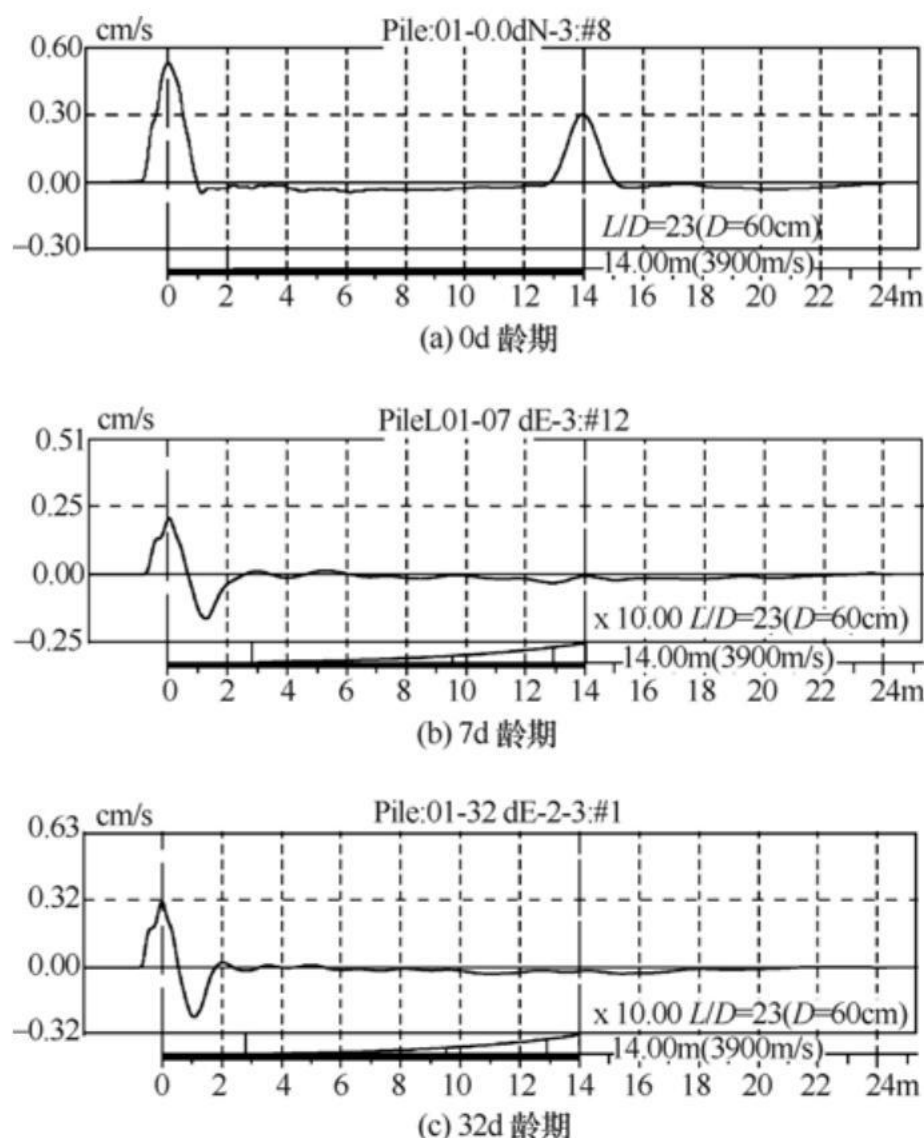


图 4 芯桩桩身完整性时域信号

芯桩刚植入水泥土中时，芯桩与水泥土之间基本没有耦合效应，信号衰减规则、桩身范围内无同向反射，桩底反射明显，是

典型的完整桩时域信号。随着水泥土龄期的增加，芯桩和水泥土之间耦合效应明显。当芯桩周围水泥土软硬程度出现差异、水泥土外表面形状不规则时，桩头浅部出现同向反射信号，桩底反射减弱，直至消失。

6.5 工 程 验 收

6.5.1、6.5.2 工程验收除应符合本规程有关规定外，尚应符合当地主管部门关于工程验收及国家现行有关标准的规定。