

中华人民共和国行业标准

JGJ

JGJ/T 210 - 2010

备案号 J 1005 - 2010

刚-柔性桩复合地基技术规程

Technical specification for rigid-flexible pile
composite foundation

010 - 04 - 14 发布

2010 - 09 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

刚-柔性桩复合地基技术规程

Technical specification for rigid-flexible pile
composite foundation

JGJ/T 210-2010

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部
施行日期：2 0 1 0 年 9 月 1 日

中国建筑工业出版社

2010 北 京

中华人民共和国行业标准
刚-柔性桩复合地基技术规程

Technical specification for rigid-flexible pile composite foundation

JGJ/T 210 - 2010

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：1% 字数：41 千字
2010 年 7 月第一版 2012 年 1 月第三次印刷
定价：10.00 元

统一书号：15112·17864

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换
（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 542 号

关于发布行业标准《刚-柔性桩 复合地基技术规程》的公告

现批准《刚-柔性桩复合地基技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 210-2010，自 2010 年 9 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2010 年 4 月 14 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发“2008年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）”的通知》（建标〔2008〕102号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 设计；5. 施工；6. 质量检测。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由温州东瓯建设集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送温州东瓯建设集团有限公司（地址：浙江省温州市荣新路39号，邮编：325000）。

本规程主编单位：温州东瓯建设集团有限公司

本规程参编单位：浙江大学

天津大学

同济大学

浙江省建筑设计研究院

浙江鲲鹏建设有限公司

温州晋大建筑安装工程有限公司

本规程主要起草人员：龚晓南 朱奎（以下按姓名笔画为序）

毛西平 叶观宝 郑刚 徐日庆

张杰 施祖元

本规程主要审查人员：（以下按姓名笔画为序）

王长科 王建华 白玉堂 刘吉福

刘国楠 陈昌富 周茂新 胡庆红
倪士坎 童小东 谢永利 蒋镇华
蔡泽芳 滕文川

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	5
4	设计	7
4.1	一般规定	7
4.2	承载力	8
4.3	沉降	10
4.4	褥垫层	12
5	施工	14
5.1	施工准备	14
5.2	灌注桩施工	15
5.3	预制桩施工	16
5.4	柔性桩施工	17
5.5	褥垫层施工	18
6	质量检测	20
	本规程用词说明	21
	引用标准名录	22
	附：条文说明	23

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirement	5
4	Design	7
4.1	General Requirement	7
4.2	Bearing Capacity	8
4.3	Settlement	10
4.4	Cushion	12
5	Construction	14
5.1	Construction Preparation	14
5.2	Cast-in-place Pile Construction	15
5.3	Precast Pile Construction	16
5.4	Flexible Pile Construction	17
5.5	Cushion Construction	18
6	Check	20
	Explanation of Wording in This Specification	21
	List of Quoted Standards	22
	Addition; Explanation of Provisions	23

1 总 则

1.0.1 为了在刚-柔性桩复合地基设计、施工和质量检测中贯彻国家的技术经济政策，做到保证质量、保护环境、安全适用、节约能源、经济合理和技术先进，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑与市政工程刚-柔性桩复合地基的设计、施工及质量检测。

1.0.3 刚-柔性桩复合地基的设计、施工及质量检测，应综合分析工程地质和水文地质条件、上部结构和基础形式、荷载特征、施工工艺、检测方法和环境条件等影响因素，遵循因地制宜、就地取材、保护环境和节约资源的原则，注重概念设计。

1.0.4 刚-柔性桩复合地基的设计、施工及质量检测，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 复合地基 composite foundation

天然地基在地基处理过程中，部分土体得到增强，或被置换，或在天然地基中设置加筋材料，由天然地基土体和增强体两部分组成的人工地基。

2.1.2 刚-柔性桩复合地基 rigid-flexible pile composite foundation

竖向增强体由刚性桩和柔性桩组成的复合地基。

2.1.3 柔性桩 flexible pile

刚度较小的竖向增强体。本规程指的柔性桩包括水泥土搅拌桩和旋喷桩。

2.1.4 刚性桩 rigid pile

刚度较大的竖向增强体。本规程指的刚性桩包括泥浆护壁成孔灌注桩、长螺旋钻孔压灌桩、沉管灌注桩、混凝土预制桩和钢管桩等。

2.1.5 褥垫层 cushion

在复合地基和基础之间设置的垫层。

2.1.6 刚性桩置换率 replacement ratio of rigid pile to composite foundation

刚性桩桩体的横截面积与复合地基面积的比值。

2.1.7 柔性桩置换率 replacement ratio of flexible pile to composite foundation

柔性桩桩体的横截面积与复合地基面积的比值。

2.2 符 号

A_{p1} ——刚性桩桩端横截面积；

- A_{p2} —— 刚性桩桩身横截面积；
 A_{p3} —— 柔性桩桩身横截面积；
 d —— 基础埋置深度；
 E_{p1} —— 刚性桩桩体的压缩模量；
 E_{p2} —— 柔性桩桩体的压缩模量；
 E_s —— 天然土层的压缩模量；
 E_{si} —— 基础底面下的第 i 层土的压缩模量；
 E_{sp1i} —— 刚性桩、柔性桩与土构成的第 i 层复合土层的复合压缩模量；
 E_{sp2i} —— 柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的第 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_c —— 混凝土桩轴心抗压强度设计值；
 f_{sk} —— 桩间土的承载力特征值；
 f_{spk} —— 复合地基承载力特征值；
 l_i —— 第 i 层土的厚度；
 m_1 —— 刚性桩面积置换率；
 m_2 —— 柔性桩面积置换率；
 n —— 刚性桩桩长范围内所划分的土层数；
 n_1 —— 柔性桩桩长范围内所划分的土层数；
 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_0 —— 相应于荷载效应准永久组合时，基础底面处的附加压力；
 Q_{uk} —— 单桩竖向极限承载力标准值；
 q_p —— 桩端地基土未经修正的承载力特征值；
 q_{pk} —— 极限端阻力标准值；
 q_{si} —— 第 i 层土的桩侧摩阻力特征值；
 q_{sik} —— 第 i 层土的极限侧阻力标准值；
 R_{a1} —— 刚性桩竖向承载力特征值；

- R_{a2} —— 水泥土搅拌桩或旋喷桩竖向承载力特征值；
 s_1 —— 刚性桩、柔性桩与土构成的复合土层压缩量；
 s_2 —— 柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的复合土层压缩量；
 s_3 —— 刚性桩桩端以下天然土层压缩量；
 u_p —— 桩的横截面周长；
 z_i —— 基础底面至第 i 层土底面的距离；
 z_{i-1} —— 基础底面至第 $i-1$ 层土底面的距离；
 α —— 柔性桩桩端天然地基土的承载力折减系数；
 $\bar{\alpha}_i$ —— 基础底面计算点至第 i 层土底面范围内平均附加应力系数；
 $\bar{\alpha}_{i-1}$ —— 基础底面计算点至第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数；
 γ_m —— 基础底面以上土的加权平均重度；
 η —— 水泥土搅拌桩和旋喷桩的桩身强度折减系数；
 η_1 —— 刚-柔性桩复合地基达到极限承载力时，刚性桩的承载力发挥系数；
 η_2 —— 刚-柔性桩复合地基达到极限承载力时，柔性桩的承载力发挥系数；
 η_3 —— 刚-柔性桩复合地基达到极限承载力时，桩间土的承载力发挥系数；
 ψ_c —— 刚性桩成桩工艺系数；
 ψ_{s1} —— 刚性桩、柔性桩与土构成的复合土层压缩量计算经验系数；
 ψ_{s2} —— 柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的复合土层压缩量计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 刚-柔性桩复合地基设计前，应具备岩土工程勘察、上部结构及基础设计和场地环境条件等有关资料。

3.0.2 应根据上部结构对地基处理的要求、工程地质和水文地质条件、工期、地区经验和环境保护要求等，提出技术上可行的复合地基方案，并应经过技术经济比较，选用合理的刚-柔性桩复合地基形式。

3.0.3 刚-柔性桩复合地基设计应保证复合地基中桩体和桩间土在荷载作用下能够共同承担荷载。

3.0.4 刚-柔性桩复合地基中的刚性桩应选用摩擦型桩。不同桩型的适用条件应符合下列规定：

1 泥浆护壁成孔灌注桩适用于地下水位以下的黏性土、粉土、砂土和填土等地基；

2 长螺旋钻孔压灌桩适用于黏性土、粉土、砂土、非密实的碎石类土和填土等地基；

3 沉管灌注桩适用于粉土、砂土、填土、非饱和黏性土等地基；

4 混凝土预制桩适用于持力层上覆盖松软地层且不存在难于穿透的坚硬夹层的地基；

5 钢管桩宜用于需承受巨大冲击力并穿透较厚硬土层的地基；

6 水泥土搅拌桩适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基；当土中有机质含量较高时，应根据现场试验结果确定其适用性；

7 旋喷桩适用于处理淤泥、淤泥质土、软塑或可塑黏性土、

粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基；当土中含有较多的大粒径块石、大量植物根茎或有机质含量较高，以及地下水流速过大和已涌水的工程，应根据现场试验结果确定其适用性。

3.0.5 刚-柔性桩复合地基应按上部结构、基础和复合地基共同作用进行分析。对大型重要工程，宜通过现场试验对设计方案进行验证分析。

3.0.6 刚-柔性桩复合地基方案的选用应符合下列规定：

1 应根据建筑物的结构类型、荷载大小及使用要求，结合工程地质和水文地质条件、基础形式、施工条件、工期要求及环境条件进行综合分析，并应进行技术经济比较，选择合理的刚-柔性桩复合地基方案；

2 对大型重要工程，应对已经选择的刚-柔性桩复合地基方案，在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工，以检验设计参数和处理效果；应通过分析比较选择和优化设计方案；

3 在施工过程中应加强监测；当监测结果未达到设计要求时，应及时查明原因，修改设计参数或采取其他必要措施。

3.0.7 刚-柔性桩复合地基宜按沉降控制的原则进行设计。

3.0.8 刚性基础下的刚-柔性桩复合地基宜设置褥垫层。填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基应设置加筋碎石垫层。

3.0.9 当采用挤土桩时，应采取有效措施，减小挤土效应。施工时宜先施工刚性桩，后施工柔性桩。

3.0.10 刚性桩和柔性桩的质量验收应符合现行国家标准《建筑地基基础施工质量验收规范》GB 50202 的规定。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 刚性桩可采用灌注桩或预制桩，柔性桩可采用水泥石搅拌桩或旋喷桩。刚性桩应在基础范围内布置。

4.1.2 刚性桩的桩距应根据土质条件、设计要求的复合地基承载力、沉降，以及施工工艺等确定，宜取 3~6 倍桩径。柔性桩的平面布置根据上部结构特点及对地基承载力和沉降的要求确定，可采用正方形、等边三角形等布桩方式。

4.1.3 基础底面的压力，应符合下列规定：

当轴心荷载作用时

$$p_k \leq f_a \quad (4.1.3-1)$$

当偏心荷载作用时，除应符合式 (4.1.3-1) 要求外，尚应符合下式要求：

$$p_{kmax} \leq 1.2f_a \quad (4.1.3-2)$$

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)；

f_a ——修正后的复合地基承载力特征值 (kPa)；

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 (kPa)。

4.1.4 刚-柔性桩复合地基承载力的基础宽度承载力修正系数应取零；基础埋深的承载力修正系数应取 1.0。修正后的复合地基承载力特征值 f_a 应按下式计算：

$$f_a = f_{spk} + \gamma_m(d-0.5) \quad (4.1.4)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa)；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m^3)，地下水位以下取浮重度；

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形基础时，基础埋置深度自室外地面标高算起；当采用独立基础或条形基础时，应从室内地面标高算起。

4.2 承 载 力

4.2.1 刚性桩的单桩承载力应按现场单桩静载试验确定。初步设计时也可按下列公式估算单桩竖向承载力特征值：

$$R_{al} = \frac{Q_{uk}}{2} \quad (4.2.1-1)$$

$$Q_{uk} = u_p \sum_{i=1}^n q_{sik} l_i + q_{pk} A_{p1} \quad (4.2.1-2)$$

式中： R_{al} ——刚性桩的单桩竖向承载力特征值 (kN)；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值 (kN)；

u_p ——桩的横截面的周长 (m)；

A_{p1} ——刚性桩桩端横截面积 (m^2)；

l_i ——第 i 层土的厚度 (m)；

n ——刚性桩桩长范围内所划分的土层数；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值 (kPa)，宜按当地经验确定；当无当地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定；

q_{pk} ——极限端阻力标准值 (kPa)，宜按当地经验确定；当无当地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定。

4.2.2 刚性桩应验算桩身承载力，混凝土桩轴心受压正截面受压承载力应符合下式要求：

$$N \leq \psi_c f_c A_{p2} \quad (4.2.2)$$

式中: N ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值 (kN);

ψ_c ——刚性桩成桩工艺系数, 可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定;

f_c ——混凝土桩轴心抗压强度设计值 (kPa);

A_{pz} ——刚性桩桩身横截面积 (m^2)。

4.2.3 水泥土搅拌桩或旋喷桩单桩承载力特征值应按现场单桩静载试验确定。初步设计时也可按式 (4.2.3-1) 和式 (4.2.3-2) 进行计算, 取其中的较小值:

$$R_{a2} = u_p \sum_{i=1}^{n_1} q_{si} l_i + \alpha q_p A_{p3} \quad (4.2.3-1)$$

$$R_{a2} = \eta f_{cu} A_{p3} \quad (4.2.3-2)$$

式中: R_{a2} ——水泥土搅拌桩或旋喷桩单桩承载力特征值 (kPa);

u_p ——桩的横截面周长 (m);

n_1 ——柔性桩桩长范围内所划分的土层数;

q_{si} ——第 i 层土的桩侧摩阻力特征值 (kPa), 宜根据当地经验确定;

α ——桩端天然地基土的承载力折减系数, 与桩长、土层土质情况有关, 宜根据当地经验确定; 无经验时可取 0.4~0.6, 承载力高时取低值;

l_i ——第 i 层土的厚度 (m);

A_{p3} ——柔性桩桩身横截面积 (m^2);

q_p ——桩端地基土未经修正的承载力特征值 (kPa), 可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定确定;

η ——水泥土搅拌桩或旋喷桩的桩身强度折减系数, 宜按地区经验取值, 如无地区经验时, 对喷浆搅拌法可取 0.25~0.33, 喷粉搅拌法可取 0.20~0.30; 旋喷桩可取 0.33;

f_{cu} ——对水泥土搅拌桩, 取与搅拌桩配合比相同的室内水泥土试块 (边长为 70.7mm 的立方体, 也可采

用边长为 50mm 的立方体) 标准养护 90d 的立方体无侧限抗压强度平均值 (kPa); 对旋喷桩, 取与旋喷桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块在标准养护条件下 28d 龄期的立方体抗压强度平均值 (kPa)。

4.2.4 刚-柔性桩复合地基承载力特征值可通过现场复合地基载荷试验确定。初步设计时也可按下式计算:

$$f_{\text{spk}} = \eta_1 m_1 R_{a1} / A_{p2} + \eta_2 m_2 R_{a2} / A_{p3} + \eta_3 (1 - m_1 - m_2) f_{\text{sk}} \quad (4.2.4)$$

式中: m_1 —— 刚性桩面积置换率;

m_2 —— 柔性桩面积置换率;

f_{sk} —— 处理后桩间土的承载力特征值 (kPa), 可通过载荷试验确定, 如无经验时, 可取天然地基承载力特征值;

η_1 —— 刚性桩的承载力发挥系数, 按当地经验或试验结果取值, 无经验时可取 0.8~1.0, 褥垫层较厚时取小值;

η_2 —— 柔性桩的承载力发挥系数, 按当地经验或试验结果取值, 无经验时可取 0.75~0.95, 褥垫层较厚时取大值;

η_3 —— 桩间土的承载力发挥系数, 按当地经验或试验结果取值, 无经验时可取 0.5~0.9, 褥垫层较厚时取大值。

4.2.5 用于路堤、堆场和道路工程的刚-柔性桩复合地基应进行稳定性验算。

4.3 沉 降

4.3.1 刚-柔性桩复合地基沉降量可按下式计算:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (4.3.1)$$

式中： s_1 ——刚性桩、柔性桩与土构成的复合土层压缩量 (mm)，按式 (4.3.2) 计算；

s_2 ——柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的复合土层压缩量 (mm)，按式 (4.3.3) 计算；

s_3 ——刚性桩桩端以下天然土层压缩量 (mm)，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定进行计算。

4.3.2 刚性桩、柔性桩与土构成的复合土层压缩量 s_1 可按下列式计算：

$$s_1 = \psi_{s1} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{p_0}{E_{sp1i}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (4.3.2)$$

式中： ψ_{s1} ——刚性桩、柔性桩与土构成的复合土层压缩量计算经验系数，宜按当地经验取值，无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；复合土层的分层原则与天然地基相同；

n_1 ——柔性桩桩长范围内所划分的土层数；

p_0 ——对应于荷载效应准永久组合下的基础底面处的附加压力 (kPa)；

E_{sp1i} ——刚性桩、柔性桩与土构成的第 i 层复合土层的复合压缩模量 (MPa)；

z_i ——基础底面至第 i 层土底面的距离 (m)；

z_{i-1} ——基础底面至第 $i-1$ 层土底面的距离 (m)；

$\bar{\alpha}_i$ ——基础底面计算点至第 i 层土底面范围内的平均附加应力系数；

$\bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第 $i-1$ 层土底面范围内的平均附加应力系数。

4.3.3 柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的复合土层压缩量 s_2 可按下列式计算：

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=n_1+1}^n \frac{p_0}{E_{sp2i}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (4.3.3)$$

式中： ψ_{s2} ——柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的复合土层压缩量计算经验系数，宜按当地经验取值，无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；复合土层的分层原则与天然地基相同；

n ——刚性桩桩长范围内所划分的土层数；

p_0 ——对应于荷载效应准永久组合下的基础底面处的附加压力 (kPa)；

E_{sp2i} ——柔性桩桩端以下，刚性桩与土构成的第 i 层复合土层的复合压缩模量 (MPa)。

4.3.4 复合土层的压缩模量可由载荷试验确定，无条件时也可采用下列公式计算：

$$E_{sp1i} = (1 - m_1 - m_2)E_{si} + m_1 E_{p1} + m_2 E_{p2} \quad (4.3.4-1)$$

$$E_{sp2i} = (1 - m_1)E_{si} + m_1 E_{p1} \quad (4.3.4-2)$$

式中： E_{si} ——基础底面下的第 i 层土的压缩模量 (MPa)；

E_{p1} ——刚性桩桩体的压缩模量 (MPa)；

E_{p2} ——柔性桩桩体的压缩模量 (MPa)；

m_1 ——刚性桩面积置换率；

m_2 ——柔性桩面积置换率。

4.4 褥垫层

4.4.1 褥垫层厚度宜采用 100mm~300mm。对路堤等柔性基础下刚-柔性桩复合地基褥垫层厚度宜取高值。

4.4.2 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配良好的砂石等。最大粒径不宜大于 20mm，夯填度（夯实后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值）不得大于 0.9。

4.4.3 填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基应在褥

垫层中设置一层或多层水平加筋体。

4.4.4 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 刚-柔性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 施工图及图纸会审纪要；
- 3 建筑场地和邻近区域内的地下管线、地下构筑物、危房、精密仪器车间等的调查资料；
- 4 主要施工设备条件、制桩条件、动力条件以及对地质条件的适应性等资料；
- 5 施工组织设计；
- 6 水泥、砂、石、钢筋等原材料及其制品的质检报告；
- 7 有关荷载、施工工艺的试验参考资料。

5.1.2 施工组织设计应结合工程特点编制，并应包括下列内容：

- 1 施工平面图：应标明桩位、编号、施工顺序、水电线路和临时设施的位置；灌注桩采用泥浆护壁成孔时，应标明泥浆制备设施及其循环系统；
- 2 确定成孔机械、配套设备以及合理施工工艺的有关资料，泥浆护壁灌注桩必须有泥浆处理措施；
- 3 施工作业计划和劳动力组织计划；
- 4 机械设备、备件、工具、材料供应计划；
- 5 安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、爆破作业、文物、节能和环境保护等方面的措施，并应符合有关部门的规定；
- 6 保证工程质量、安全生产和季节性施工的技术措施。

5.1.3 施工现场事先应予平整，并应清除地上和地下障碍物。遇明浜、池塘及场地低洼时应抽水 and 清淤，应分层夯实回填黏性土料，不得回填有机杂填土或生活垃圾。

5.1.4 施工前应根据设计要求对刚、柔性桩进行工艺性试桩，数量分别不得少于 2 根。

5.1.5 刚-柔性桩复合地基施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施，应在开工前准备就绪，保证施工机械正常作业。

5.1.6 桩轴线的控制点和水准基点应设在不受施工影响之处，并应在开工前复核。施工过程中应妥善保护，并应经常复测。

5.1.7 用于施工质量检验的仪表、器具的性能指标，应符合现行国家相关标准的规定。

5.2 灌注桩施工

5.2.1 泥浆护壁成孔灌注桩、长螺旋钻孔压灌桩和沉管灌注桩的施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.2.2 泥浆护壁成孔灌注桩施工时，泥浆护壁应符合下列规定：

1 施工期间护筒内的泥浆面应高出地下水位 1.0m 以上，在受水位涨落影响时，泥浆面应高出最高地下水位 1.5m 以上；

2 在清孔过程中，应不断置换泥浆，直至开始浇筑水下混凝土；

3 浇筑混凝土前，孔底 500mm 以内的泥浆相对密度应小于 1.25；含砂率不得大于 8%；黏度不得大于 28s；

4 在容易产生塌孔的土层中应采取维持孔壁稳定的措施。

5.2.3 钻孔达到设计深度后，灌注混凝土之前，孔底沉渣厚度不应大于 100mm。

5.2.4 泥浆护壁成孔灌注桩施工时，水下灌注的混凝土应符合下列规定：

1 水下灌注混凝土应具备良好的和易性，配合比应通过试验确定；坍落度宜为 180mm~220mm；

2 水下灌注混凝土的含砂率宜为 40%~50%，并宜选用中粗砂；粗骨料的最大粒径应小于 40mm；

3 导管埋入混凝土深度不应小于 2m；严禁将导管提出混凝土灌注面，并应控制提拔导管速度，应有专人测量导管埋深及管内外混凝土灌注面的高差，并应填写水下混凝土灌注记录；

4 灌注混凝土必须连续进行；应控制最后一次灌注量，超灌高度宜为 0.8m~1.0m，凿除泛浆高度后必须保证暴露的桩顶混凝土强度达到设计等级。

5.2.5 长螺旋钻孔压灌桩施工时，钻至设计标高后，应先泵入混凝土并停顿 10s~20s，再缓慢提升钻杆。提钻速度应根据土层情况确定，且应与混凝土泵送量相匹配，保证管内有一定高度的混凝土。桩身混凝土的泵送压灌应连续进行。混凝土压灌结束后，应立即将钢筋笼插至设计深度。

5.2.6 沉管灌注桩应根据土质情况和荷载要求，分别选用单打法、复打法、反插法等。单打法可用于含水量较小的土层，且宜采用预制桩尖；反插法及复打法可用于饱和土层。

5.2.7 灌注桩混凝土的充盈系数不得小于 1.0，也不宜大于 1.3。一般土质宜为 1.1，软土宜为 1.2~1.3。

5.2.8 灌注桩施工的垂直度偏差不得大于 1%，桩位偏差不得大于 100mm。

5.3 预制桩施工

5.3.1 混凝土预制桩和钢管桩可采用锤击沉桩和静压沉桩。其施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.3.2 打桩顺序应符合下列规定：

- 1 对于密集桩群，应自中间向两个方向或四周对称施打；
- 2 当一侧毗邻建筑物时，应由毗邻建筑物处向另一方向施打；
- 3 根据基础的设计标高，宜先深后浅；
- 4 根据桩的规格，宜先大后小，先长后短。

5.3.3 锤击沉桩终止锤击的条件应以控制桩端设计标高为主，贯入度为辅。

5.3.4 对敞口钢管桩，当锤击沉桩有困难时，可在管内取土以助沉。

5.3.5 采用静压沉桩时，场地地基承载力不应小于压桩机接地压强的 1.2 倍，且场地应平整。

5.3.6 最大压桩力不宜小于设计的单桩竖向极限承载力标准值，必要时可由现场试验确定。压桩机的最大压桩力应取压桩机的机架重量与配重之和乘以 0.9。

5.3.7 静力压桩施工的质量控制应符合下列规定：

1 第一节桩下压时垂直度偏差不应大于 0.5%；

2 宜将每根桩一次性连续压到底，且最后一节有效桩长不宜小于 5m；

3 抱压力不应大于桩身允许侧向压力的 1.1 倍。

5.3.8 终压条件应符合下列规定：

1 应根据现场试压桩的试验结果确定终压力标准；

2 终压连续复压次数应根据桩长及地质条件等因素确定，对于入土深度大于或等于 8m 的桩，复压次数可为 2~3 次；对于入土深度小于 8m 的桩，复压次数可为 3~5 次；

3 稳压压桩力不得小于终压力，稳定压桩的时间宜为 5s~10s。

5.3.9 预制桩施工的垂直度偏差不得超过 1%，桩位偏差不得大于 100mm。

5.3.10 可采取预钻孔沉桩、设置应力释放孔、袋装砂井或塑料排水板、隔离板桩或地下连续墙，开挖防震沟及限制打桩速率等辅助措施，以减少施工对周围环境的影响。

5.4 柔性桩施工

5.4.1 水泥石搅拌桩和旋喷桩的施工应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

5.4.2 水泥石搅拌桩施工尚应符合下列规定：

1 搅拌头翼片的枚数、宽度、与搅拌轴的垂直夹角、搅拌

头的回转数、提升速度应相互匹配，以确保加固深度范围内土体的任何一点均能经过 20 次以上的搅拌；

2 所使用的水泥均应过筛。喷浆（粉）量及搅拌深度应采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录；

3 搅拌头的直径应定期复核检查，其磨耗量不得大于 10mm；

4 停浆（灰）面应高于桩顶设计标高 300mm~500mm，开挖时应将搅拌桩顶端施工质量较差的桩段用人工挖除；

5 可采用提升或下沉喷浆（粉）的施工工艺，但必须确保全桩长上下至少再重复搅拌一次。

5.4.3 旋喷桩施工应符合下列规定：

1 旋喷桩的施工参数应根据土质条件、加固要求通过试验或根据工程经验确定，并应在施工中严格加以控制；单管法及双管法的高压水泥浆和三管法高压水的压力应大于 20MPa；

2 水泥浆液的水灰比应按工程要求确定，可取 0.8~1.5，宜采用 1.0；

3 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位，可采用复喷措施；

4 在施工过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时，应查明原因并及时采取措施；

5 旋喷桩施工完毕，应迅速拔出喷射管；为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，必要时可在原孔位采取冒浆回灌或二次注浆等措施；

6 施工中应做好泥浆处理，并应及时将泥浆运出或在现场短期堆放后作土方运出。

5.4.4 水泥土搅拌桩和旋喷桩施工的垂直度偏差不得超过 1%，桩位偏差不得大于 150mm。

5.5 褥垫层施工

5.5.1 基坑开挖时应确保基坑内刚性桩和柔性桩桩体不受损坏，

应合理安排基坑挖土顺序和控制分层开挖的深度，挖出的土方不得堆置在基坑附近。

5.5.2 基坑开挖后应及时铺设褥垫层。褥垫层铺设宜采用静力压实法，当基础底面下桩间土的含水量较小及褥垫层厚度大于300mm时，也可采用动力夯实法。

5.5.3 褥垫层的厚度、铺设范围和夯填度应符合设计要求。

6 质量检测

6.0.1 刚-柔性桩复合地基质量检测宜在施工结束 28d 后进行。

6.0.2 泥浆护壁成孔灌注桩、长螺旋钻孔压灌桩和沉管灌注桩施工完毕后可采用低应变法、声波透射法、钻芯法等检测方法进行桩身完整性检测；混凝土预制桩施工完毕后可采用低应变法进行桩身完整性检测，检测数量宜由设计单位根据有关规范和地区经验确定。

6.0.3 水泥土搅拌桩和旋喷桩施工完毕后，可采用浅部开挖桩头法、钻芯法等检测方法进行桩身质量检测，检测数量宜由设计单位根据有关规范和地区经验确定。

6.0.4 施工过程中应随时检查施工记录及现场施工情况，并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。

6.0.5 基槽开挖后，应检查桩位、桩径、桩数、桩顶密实度及槽底土质情况。如发现漏桩、桩位偏差过大、桩头及槽底土质松软等质量问题，应采取补救措施。

6.0.6 基础施工前应对褥垫层的厚度和夯填度进行检测。

6.0.7 复合地基承载力检测宜采用刚-柔性复合地基载荷试验或单桩复合地基载荷试验，也可采用单桩载荷试验。刚性桩载荷试验检测数量宜为刚性桩总数的 1.0%，且不应少于 3 点；柔性桩载荷试验检测数量宜为柔性桩总数的 0.5%~1.0%，且不应少于 3 点。刚-柔性桩复合地基载荷试验中复合地基所包含的刚性桩和柔性桩面积置换率应与实际复合地基中所包含的刚性桩和柔性桩面积置换率相同。

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，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 《建筑地基基础施工质量验收规范》GB 50202
- 3 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 4 《建筑桩基技术规范》JGJ 94

中华人民共和国行业标准

刚-柔性桩复合地基技术规程

JGJ/T 210 - 2010

条文说明

制 订 说 明

《刚-柔性桩复合地基技术规程》JGJ/T 210 - 2010 经住房和城乡建设部 2010 年 4 月 14 日以第 542 号公告批准发布。

本规程制订过程中，编制组对国内建筑等行业刚-柔性桩复合地基的应用情况进行了调查研究，总结了我国刚-柔性桩复合地基设计、施工和检测的实践经验，开展了刚-柔性桩复合地基室内试验和现场试验。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《刚-柔性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、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	26
2	术语和符号	27
3	基本规定	29
4	设计	31
4.1	一般规定	31
4.2	承载力	31
4.3	沉降	32
4.4	褥垫层	33
5	施工	35
5.1	施工准备	35
5.2	灌注桩施工	35
5.3	预制桩施工	36
5.4	柔性桩施工	37
5.5	褥垫层施工	39
6	质量检测	40

1 总 则

1.0.1 由刚性桩和柔性桩组成的复合地基称为刚-柔性桩复合地基。在刚-柔性桩复合地基中,刚性桩比柔性桩长,有利于发挥刚性桩和柔性桩的承载特性。近年来,刚-柔性桩复合地基在土木工程建设中得到广泛应用,为了规范刚-柔性桩复合地基设计、施工和质量检测,促进刚-柔性桩复合地基的工程应用,制定了本规程。

1.0.2 刚-柔性桩复合地基适用于具有较深厚压缩性土层的地基,通过较长的刚性桩将上部荷载传递给较深土层。近年来,刚-柔性桩复合地基除在建筑和市政工程中得到广泛应用外,在高等级公路建设中也已得到应用,可供参考。

1.0.3 刚-柔性桩复合地基设计要求详细了解场地工程地质和水文地质条件,了解土层形成年代和成因,掌握土的工程性质,运用土力学基本概念,结合工程经验,进行计算分析。在计算分析中强调定性分析和定量分析相结合,抓问题的主要矛盾。由于计算条件的模糊性和信息的不完全性,不能单纯依靠力学计算,需要结合岩土工程师的综合判断。所以刚-柔性桩复合地基设计强调注重概念设计。

2 术语和符号

2.1.1 复合地基是一个新概念。20世纪60年代国外采用碎石桩加固地基，并将加固后的地基称为复合地基。改革开放以后，我国引进碎石桩等许多地基处理新技术，同时也引进了复合地基概念。复合地基最初是指采用碎石桩加固后形成的人工地基。随着复合地基技术在我国土木工程建设中的推广应用，复合地基理论得到了很大的发展。随着深层搅拌桩加固技术在工程中的应用，发展了水泥土桩复合地基的概念。碎石桩是散体材料桩，水泥土搅拌桩是粘结材料桩。水泥土桩复合地基的应用促进了柔性桩复合地基理论的发展。随着混凝土桩复合地基等新技术的应用，形成刚性桩复合地基概念。近年来由刚性桩和柔性桩组成的刚-柔性桩复合地基在土木工程建设中得到广泛应用，复合地基概念得到了进一步的发展。复合地基的本质和形成条件是复合地基中的桩体和桩间土在荷载作用下能够共同承担荷载。

2.1.2 由刚性桩和柔性桩组成的复合地基称为刚-柔性桩复合地基。刚-柔性桩复合地基中，刚性桩较长，柔性桩较短，是一种长短桩复合地基。较长的刚性桩可把荷载传递给较深土层，有利提高承载力和减少沉降；较短的柔性桩可有效改善浅层土的承载性能，也具有较好的经济性。刚-柔性桩复合地基不仅承载性能好，而且具有较好的经济性。

2.1.3、2.1.4 桩的刚柔是相对的。桩的刚度不仅取决于桩体模量，还与桩土模量比和桩的长径比有关。在工程应用上，常将各种混凝土桩、钢桩称为刚性桩，将水泥土搅拌桩、旋喷桩、石灰桩和灰土桩等称为柔性桩，而将由散体材料碎石形成的碎石桩称

为散体材料桩。散体材料桩与上述刚性桩和柔性桩的荷载传递特性具有较大区别。若采用刚性桩与散体材料桩形成刚-柔性桩复合地基，应重视散体材料桩的荷载传递特性。

3 基本规定

3.0.3 复合地基中的桩体和桩间土在荷载作用下能够共同承担荷载是复合地基的本质，是复合地基与传统桩基础的区别。只有在刚-柔性桩复合地基设计中保证复合地基中桩体和桩间土在荷载作用下能够共同承担荷载，才能真正形成刚-柔性桩复合地基。

3.0.4 规程规定刚-柔性桩复合地基中的刚性桩应选用摩擦型桩，是为了保证在建筑物使用过程中桩体和桩间土能够共同直接承担荷载。若刚性桩是端承桩，则难以保证在荷载作用下刚-柔性桩复合地基中的桩体和桩间土共同直接承担荷载。复合地基中的桩体和桩间土在荷载作用下能够共同直接承担荷载不仅指在荷载作用初期，而且指在建筑物整个使用过程。在刚-柔性桩复合地基设计中对此应予以充分重视。

3.0.5 在刚-柔性桩复合地基设计中一定要重视上部结构、基础和复合地基的共同作用。复合地基是通过一定的沉降量来达到桩和土共同承担荷载，设计中要重视沉降可能对上部结构产生的不良影响。

3.0.7 按沉降控制设计理论是近年得以发展的设计新理念，对刚-柔性桩复合地基设计更有意义。下面先介绍什么是按沉降控制设计理论，然后再讨论刚-柔性桩复合地基按沉降控制设计。

按沉降控制设计是相对于按承载力控制设计而言的。事实上无论按承载力控制设计还是按沉降控制设计都要满足承载力的要求和小于某一沉降量的要求。按沉降控制设计和按承载力控制设计究竟有什么不同呢？

在按承载力控制设计中，通常先按满足承载力要求进行设计，然后再验算沉降量是否满足要求。如果地基承载力不能满足要求，或验算沉降量不能满足要求，再修改设计方案。而在按沉

降控制设计中，通常先按满足沉降要求进行设计，然后再验算承载力是否满足要求。一般情况下，满足沉降要求后一般能满足承载力要求。

按沉降控制设计对设计人员提出了更高的要求，要求更好地掌握沉降计算理论，总结工程经验，提高沉降计算精度。按沉降控制设计理念使工程设计更为合理。

3.0.8 基础刚度对刚-柔性桩复合地基的破坏模式、承载力和沉降有重要影响。当处于极限状态时，刚性基础下刚-柔性桩复合地基中桩先发生破坏，而在填土路堤等刚度较小的基础下刚-柔性桩复合地基中可能桩间土先发生破坏。刚性基础下刚-柔性桩复合地基的承载力大于填土路堤等刚度较小的基础下刚-柔性桩复合地基的承载力。荷载水平相同时，刚性基础下刚-柔性桩复合地基的沉降小于填土路堤等刚度较小的基础下刚-柔性桩复合地基的沉降。

在刚性基础下的刚-柔性桩复合地基上设置褥垫层可以增加桩间土承担荷载的比例，较充分利用桩间土的承载潜能，提高地基承载力。通常采用 100mm~300mm 厚的碎石或砂石褥垫层。

在填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基，应在复合地基上铺设刚度较好的褥垫层。褥垫层的铺设应利于防止桩体向上刺入，增加桩土应力比，充分利用桩体的承载潜能，减小沉降。一般可采用灰土褥垫层、土工格栅加筋碎石褥垫层等。在填土路堤和柔性面层堆场下，不设褥垫层的刚-柔性桩复合地基应慎用。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 刚-柔性桩复合地基中刚性桩除钢筋混凝土灌注桩、预制桩、预应力管桩、素混凝土桩外，还可采用钢管桩、大直径现浇混凝土筒桩等；柔性桩除水泥土搅拌桩和旋喷桩外，还可采用石灰桩、灰土桩和碎石桩等。采用其他类型的刚性桩和柔性桩，除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.2 对刚性桩来说，即使是非挤土型桩，当刚性桩桩距过小时，刚性桩之间的柔性桩不能有效发挥作用，而当刚性桩桩距过大时，又不符合刚性桩与柔性桩作为复合地基来工作的原理，故而对刚性桩的桩距进行限制。柔性桩除柱状加固外，也可采用壁状、格栅状等加固形式。

4.1.4 目前基础埋深对复合地基承载力的提高作用的机理研究尚不够深入，计算方法尚不成熟，因此，对复合地基，目前一般把复合地基承载力的基础宽度承载力修正系数取零，基础埋深的承载力修正系数取 1.0。

基础埋深的承载力修正系数为 1.0 意味着当基础埋深增加时，基础底面标高处的基础两侧增加的超载而提高的承载力与由于基础范围内回填土增加的基础自重相等。

4.2 承 载 力

4.2.4 由于刚-柔性桩复合地基工作机理复杂，因此，其承载力可通过现场复合地基载荷试验来确定。在初步设计时，采用式(4.2.4)计算复合地基承载力时需要参照当地工程经验，选取适当的刚性桩承载力发挥系数 η_1 、柔性桩承载力发挥系数 η_2 和桩间土承载力发挥系数 η_3 。这三个承载力发挥系数的概念是，当

复合地基加载至承载能力极限状态时，刚性桩、柔性桩及桩间土相对于其各自极限承载力的发挥程度，不能理解为工作荷载下三者的荷载分担比。

对刚性桩的承载力发挥系数 η_1 、柔性桩的承载力发挥系数 η_2 和桩间土的承载力发挥系数 η_3 取值的主要影响因素有：基础刚度；刚性桩、柔性桩和桩间土三者间的模量比；刚性桩面积置换率和柔性桩面积置换率；刚性桩和柔性桩的长度；褥垫层厚度；场地土的分层及土的工程性质。

对刚性基础下刚-柔性桩复合地基，一般情况下，桩间土承载力发挥系数 η_3 小于柔性桩承载力发挥系数 η_2 ，柔性桩承载力发挥系数 η_2 小于刚性桩承载力发挥系数 η_1 。刚性基础下刚-柔性桩复合地基中的刚性桩一般能够完全发挥其极限承载力，刚性桩承载力发挥系数 η_1 可近似取 1.0，柔性桩承载力发挥系数 η_2 可取 0.70~0.95，桩间土承载力发挥系数 η_3 可取 0.5~0.9。当褥垫层较厚时有利于发挥桩间土和柔性桩的承载力，故褥垫层厚度较大时承载力发挥系数可取较高值。当刚性桩面积置换率较小时，有利于发挥桩间土和柔性桩的承载力，桩间土承载力发挥系数 η_3 和柔性桩承载力发挥系数可取较高值。刚-柔性桩复合地基设计需要岩土工程师综合判断能力，注重概念设计。

对填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基，一般情况下，桩间土承载力发挥系数 η_3 大于柔性桩承载力发挥系数 η_2 ，柔性桩承载力发挥系数 η_2 大于刚性桩承载力发挥系数 η_1 。褥垫层刚度对桩的承载力发挥系数影响较大，若褥垫层能有效防止刚性桩过多刺入褥垫层，则刚性桩的承载力发挥系数 η_1 可取较高值，一般情况下应小于 1.0。对填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基，除应满足式 (4.2.4) 外，尚应满足本规程第 4.2.5 条的要求。

4.3 沉 降

4.3.1 刚-柔性桩复合地基中，刚性桩长度一般大于柔性桩，因

此，在附加应力影响深度范围内，由上至下分别为三个不同的压缩区域：刚性桩、柔性桩与土构成的复合土层；柔性桩桩端以下由刚性桩与土构成的复合土层；以及刚性桩桩端以下的天然土层。因此，刚-柔性桩复合地基沉降量相应地也分为三个部分来计算。

4.3.2、4.3.3 复合地基沉降量采用分层综合法计算时，主要作了两个假设：(1) 刚-柔性桩复合地基中的附加应力分布计算采用均质土地基的计算方法，不考虑刚性桩、柔性桩的存在对附加应力分布的影响；(2) 在复合地基产生沉降时，忽略刚性桩与土之间、柔性桩与土之间产生相对的滑移，采用复合压缩模量来考虑桩的作用。

上述假设带来的误差通过复合土层压缩量计算经验系数来调整。在计算时，需要根据当地经验，选择适当的经验系数。

4.3.4 复合土层的复合压缩模量计算式是经验公式。在经验公式中，桩体采用弹性模量，土体采用压缩模量，通过面积比形成复合土层的复合压缩模量。其可能带来的误差也通过复合土层压缩量计算经验系数来调整。

4.4 褥垫层

4.4.1 对刚性基础下刚-柔性桩复合地基，当褥垫层厚度过小时，不利于桩间土承载力和柔性桩承载力的发挥；当褥垫层厚度过大时，既不利于刚性桩的承载力发挥，又增加成本。根据经验，建议褥垫层厚度采用 100mm~300mm。

对填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基，主要要求褥垫层能有效防止刚性桩过多刺入褥垫层，因此要求在砂石褥垫层中铺设土工合成材料，或采用灰土褥垫层。根据经验，建议褥垫层厚度采用上述范围的高值。

4.4.3 对填土路堤和柔性面层堆场下的刚-柔性桩复合地基需要在褥垫层中设置一层或多层水平加筋体，以协调桩与桩间土分担荷载。在褥垫层中设置加筋体可提高复合地基的稳定性。加筋体

可采用高强度、低应变率、低徐变、耐久性好的土工合成材料。

4.4.4 规程规定褥垫层设置范围宜比基础外围每边大 200mm~300mm，主要考虑当基础四周易因褥垫层过早向基础范围以外挤出而导致桩、土的承载力不能充分发挥。若基础侧面土质较好褥垫层设置范围可适当减小。也可在基础下四边设置围梁，防止褥垫层侧向挤出。

5 施 工

5.1 施 工 准 备

5.1.3 对于常用的柔性桩——水泥石搅拌桩，国产搅拌头大都采用双层（或多层）十字杆型。这类搅拌头切削和搅拌加固软土十分合适，但对块径大于 100mm 的石块、树根和生活垃圾等大块物的切割能力较差，即使将搅拌头作了加固处理后已能穿过块石层，但施工效率较低，机械磨损严重。因此，施工时应以挖除后再填素土为宜，增加的工程量不大，但施工效率却可大大提高。

5.1.4 为了确定刚性桩和柔性桩的施工参数及施工工艺，施工前应分别对刚性桩和柔性桩进行工艺性试桩，以充分了解场地的土层情况、施工设备性能、不同桩型的施工参数、施工质量的控制指标及合理优化的施工工艺等。必要时通过对工艺性试桩的现场检测，了解桩身质量和处理效果。

5.2 灌 注 桩 施 工

5.2.2 泥浆护壁成孔灌注桩清孔后要求测定的泥浆指标有三项，即相对密度、含砂率和黏度。它们是影响混凝土灌注桩质量的主要指标。

5.2.3 多年来对于桩底不同沉渣厚度的试桩结果表明，沉渣厚度大小不均影响端阻力的发挥，也影响侧阻力的发挥，刚柔性桩复合地基中的刚性桩一般均为摩擦桩，故在灌注混凝土之前孔底沉渣厚度指标控制为不应大于 100mm。

5.2.4 水下灌注混凝土的细骨料宜选用中粗砂，是根据全国多数地区的使用经验和条件制订，少数地区若无中粗砂而选用其他砂，可通过试验进行选定，也可用合格的石屑代替。

条文中规定了最小的埋管深度不宜小于 2m，是为了防止导管拔出混凝土而造成断桩事故；但埋管也不宜太深，以免造成埋管事故，因此不宜大于 6m。

5.2.5 长螺旋钻孔压灌桩成桩工艺是国内近年开发且使用较广的一种新工艺，适用于地下水位以上的黏性土、粉土、素填土、中等密实以上的砂土，属非挤土成桩工艺，该工艺有穿透力强、低噪声、无振动、无泥浆污染、施工效率高、质量稳定等特点。

长螺旋钻孔压灌桩成桩，应准确掌握提拔钻杆时间，钻至预定标高后，开始泵送混凝土，管内空气从排气阀排出，待钻杆内管及输送软、硬管内混凝土达到连续时提钻。若提钻时间较晚，在泵送压力下钻头处的水泥浆液被挤出，容易造成管路堵塞。应杜绝在泵送混凝土前提拔钻杆，以免造成桩端处存在虚土或桩端混合料离析、端阻力减小。提拔钻杆中应连续泵料，特别是在饱和砂土、饱和粉土层中不得停泵待料，避免造成混凝土离析、桩身缩径和断桩，目前施工多采用商品混凝土或现场用两台 0.5m³ 的强制式搅拌机拌制。

灌注桩后插钢筋笼工艺近年有较大发展，插笼深度提高到目前 20m~30m，较好地解决了地下水位以下压灌桩的配筋问题。但后插钢筋笼的导向问题没有得到很好的解决，施工时应注意根据具体条件采取综合措施控制钢筋笼的垂直度和保护层有效厚度。

5.3 预制桩施工

5.3.2 沉桩顺序是沉桩施工方案的一项重要内容。以往施工单位不注意合理安排沉桩顺序造成事故的事例很多，如桩位偏移、桩体上涌、地面隆起过多、建筑物破坏等。

5.3.3 本条所规定的停止锤击的控制原则适用于一般情况，实践中也存在某些特例。如软土中的密集桩群，由于大量桩沉入土中产生挤土效应，对后续桩的沉桩带来困难，如坚持按设计标高控制很难实现。按贯入度控制的桩，有时也会出现满足不了设计

要求的情况。对于重要建筑，强调贯入度和桩端标高均达到设计要求，即实行双控是必要的。因此确定停锤标准是较复杂的，宜借鉴经验与通过静载试验综合确定停锤标准。贯入度应通过工艺性试桩确定。

5.3.10 本条列出的一些减少打桩对邻近建筑物影响的措施是对多年实践经验的总结。如某工程，未采取任何措施沉桩地面隆起达 15cm~50cm，采用预钻孔措施地面隆起则降为 2cm~10cm。控制打桩速率减少挤土隆起也是有效措施之一。对于经检测确有桩体上涌的情况，应实施复打。具体用哪一种措施要根据工程实际条件综合分析确定，有时可同时采用几种措施。即使采取了措施，也应加强监测。

5.4 柔性桩施工

5.4.2 水泥石搅拌机施工时，搅拌次数越多，则拌合越为均匀，水泥石强度也越高，但施工效率就降低。试验证明，当加固范围内土体任一点的水泥石经过 20 次的拌合，其强度即可达到较高值。

根据实际施工经验，搅拌法在施工到顶端 0.3m~0.5m 范围时，因上覆土压力较小，搅拌质量较差。因此，其场地整平标高应比设计确定的基底标高再高出 0.3m~0.5m，桩制作时仍施工到地面，待开挖基坑时，再将上部 0.3m~0.5m 的桩身质量较差的桩段挖去。

根据现场实践表明，当搅拌桩作为承重桩进行基坑开挖时，桩顶和桩身已有一定的强度，若用机械开挖基坑，往往容易碰撞损坏桩顶，因此基底标高以上 0.3m 宜采用人工开挖，以保护桩头质量。

制桩质量的优劣直接关系到地基处理的加固效果。其中的关键是注浆量、注浆与搅拌的均匀程度。因此，施工中应严格控制喷浆提升速度和搅拌次数，其关键点是必须确保全桩长再重复搅拌一次。

5.4.3 由于高压喷射注浆的压力与处理地基的效果有关，压力愈大，处理效果愈好。根据国内实际工程中应用实例，单管法、双管法和三管法的高压水泥浆液流或高压水射流的压力宜大于20MPa，气流的压力以空气压缩机的最大压力为限，通常在0.7MPa左右，低压水泥浆的灌注压力通常在(1.0~2.0)MPa左右，提升速度为(0.05~0.25)m/min，旋转速度可取(10~20)r/min。

水泥浆液的水灰比越小，高压喷射注浆处理地基的强度越高。在生产中因注浆设备的原因，水灰比太小时，喷射有困难，故水灰比通常取0.8~1.5，生产实践中常用1.0。

在不改变喷射参数的条件下，对同一标高的土层作重复喷射时，能加大有效加固长度和提高固结体强度。这是一种局部获得较大旋喷直径或定喷、摆喷范围的简易有效方法。复喷的方法根据工程要求决定。在实际工程中，旋喷桩通常在底部和顶部进行复喷，以增大承载力和确保处理质量。

当喷射注浆过程中出现下列异常情况时，需查明原因并采取相应措施：

1 流量不变而压力突然下降时，应检查各部位的泄露情况，必要时拔出注浆管，检查密封性能。

2 出现不冒浆或断续冒浆时，若系土质松软则视为正常现象，可适当进行复喷；若系附近有空洞、通道，则应不断提升注浆管继续注浆直至冒浆为止或拔出注浆管待浆液固定后重新注浆。

3 压力稍有下降时，可能系注浆管被击穿或有孔洞，使喷射能力降低，此时应拔出注浆管进行检查。

4 压力陡增超过最高限值、流量为零、停机后压力仍不变动时，则可能是喷嘴堵塞，应拔管疏通喷嘴。

当高压喷射注浆完毕后，或在喷射注浆过程中因故中断，短时间（大于或等于浆液初凝时间）内不能继续喷射时，均应立即拔出注浆管清洗备用，以防浆液凝固后拔不出管来。

为防止因浆液凝固收缩，产生加固地基与建筑基础不密贴或脱空现象，可采取超高喷射（旋喷处理地基的顶面超过建筑基础底面，其超高量大于收缩高度）、回灌冒浆或二次注浆等措施。

5.5 褥垫层施工

5.5.1 在基坑开挖时，搅拌桩或旋喷桩桩身水泥土已有一定的强度，若采用机械开挖基坑，往往容易碰撞损坏柔性桩和刚性桩的桩顶，因此基础埋深较浅时宜采用人工开挖，基础埋深较深时，可先采用机械开挖，并严格均衡开挖，留一定深度采用人工开挖，以保护桩头质量。

5.5.2 褥垫层材料多为中砂、粗砂、级配良好的砂石等，最大粒径不宜大于 20mm，不宜选用卵石。当基础底面桩间土含水量较大时，应进行试验确定是否采用动力夯实法，避免桩间土承载力降低，出现“弹簧土”现象。对较干的砂石材料，虚铺后可适当洒水再进行碾压或夯实。

6 质量 检测

6.0.1 钻孔灌注桩混凝土浇筑后需要 28d 才达到龄期；预制桩施工后桩周土体受到挤压扰动，土体中会产生较大的超孔隙水压力，并出现土体隆起现象。地基土中超孔隙水压力消散或土体重新固结均需要一定的期限，土体重新固结后桩的承载力更接近实际的承载力。水泥土搅拌桩或旋喷桩水泥土强度要在 90d 才达到龄期。综合考虑刚-柔性桩复合地基质量检测宜在地基施工结束 28d 后进行。对水泥土强度可由不同龄期的强度推算 90d 龄期的强度。

6.0.2 对于不同的检测方法，检测数量可有所差别，当采用低应变法时，抽检数量不宜少于总桩数的 30%；当采用钻芯法或声波透射法时，抽检数量不宜少于总桩数的 10%。设计单位可根据当地地质情况和桩的施工质量可靠性等确定检测数量。抽样检测的受检桩宜选择有代表性的桩、施工质量有疑问的桩、设计方认为重要的桩、局部地质条件出现异常的桩。

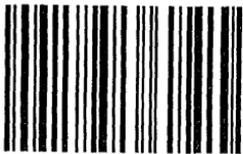
6.0.3 采用浅部开挖桩头法时，深度宜超过停浆面下 0.5m，检查数量宜为总桩数的 5%；采用钻芯法时，检查数量宜为总桩数的 0.5%，且不少于 3 根。

6.0.7 刚-柔性桩复合地基载荷试验用于测定载荷板下复合地基承载力和影响范围内复合土层的变形参数。复合地基载荷试验载荷板应具有足够刚度，必须核算其抗弯刚度和抗剪强度。载荷板可采用钢板或钢筋混凝土板，载荷板形状可采用方形、矩形或菱形。载荷试验所用载荷板的面积必须与受检测桩承担的处理面积相同。载荷板的安装就位必须准确，应与复合地基的承载重心保持一致。当 3 个试验点的承载力值极差不大于 30%，取其平均值作为复合地基承载力。极差超过平均值的 30% 时，宜增加载

荷试验数量并分析极差过大的原因，结合工程具体情况确定极限承载力。

在基槽开挖后短时期内不宜开展载荷试验，待扰动土恢复强度后再进行载荷试验；试验前不宜使基底土曝晒，采取措施防止地基土含水量发生变化。刚-柔性桩复合地基载荷试验时褥垫层宜采取适宜的侧向约束措施，加载前褥垫层宜进行预压。

刚-柔性桩复合地基载荷试验可参照《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 - 2002 执行。



1 5 1 1 2 1 7 8 6 4



统一书号：15112·17864
定 价： 10.00 元