

4 补充勘察

4.1 一般规定

4.1.1 补充勘察前应根据工程已有岩土工程勘察资料和拟采用复合地基设计要求编制针对性的勘察方案。

4.1.2 补充勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021、《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72、《建筑桩基技术规范》JGJ94 和《筏形与箱形基础技术规范》JGJ6 等的有关规定和设计要求。

4.1.3 补充勘察方案应经复合地基设计单位确认后实施。

4.2 技术要求

4.2.1 补充勘察除满足本规程第 3.0.6 条要求外,尚应符合下列要求:

- 1 进一步查明拟建场地各岩土层的类型、成因、空间分布变化规律和工程特性;
- 2 进一步查明填土的填筑时间及材料成分等;
- 3 进一步查明场地水文地质条件、地下水类型及腐蚀性,并实测地下水水位;
- 4 对拟选作桩端持力层的土层应进一步核查其承载力及变形特性,对拟作桩端持力层的岩层应进一步核查其岩性、构造、风化

程度和坚硬程度及完整性；

5 进一步核查不良地质作用，提供洞穴、冲沟、破碎岩体或软弱夹层、可液化层和特殊性岩土的分布及其危害程度，并提出处理措施建议；

6 对成桩工艺、成桩可能性及有关岩土问题提出处理建议。

4.2.2 勘探孔布置和间距应符合下列规定：

1 勘察孔应按柱轴线方向布置；

2 摩擦型桩、端承摩擦型桩勘探孔间距宜为 10 m~15 m，端承型桩、摩擦端承型桩勘探孔间距宜为 8 m~12 m；

3 拟布置有 4 根以上桩的独立基础、复合地基设计等级为甲级的，单列相邻 5 根桩之间至少布置 1 个勘探钻孔；

4 膨胀土、遇水软化岩基以及成桩扰动破坏岩土结构性且不易恢复的场地，勘探孔间距不应大于 10 m；

5 相邻勘探点所揭露的拟作为持力层的层面坡度大于 10% 或存在可能影响成桩质量的岩土层时，应适当加密勘探点；

6 基岩裂隙发育、裂隙水丰富的场地，勘探孔间距不宜大于拟布置桩间距的 4 倍。

4.2.3 勘探孔深度应符合下列规定：

1 一般性勘探孔应进入预计桩端平面以下 3 倍桩径，且不得小于 5 m。

2 控制性钻孔应深入预计桩端平面以下 5 倍桩径，且不得小于 8 m；对膨胀土、遇水软化岩基以及成桩破坏岩土结构且不易恢复的地层，应深入桩端平面以下不小于 10 m。

3 当持力层中存在软弱夹层、遇断层破碎带时，钻孔深度应穿透软弱层进入相对完整岩土层以下深度不少于 5 倍桩径。

4 勘探孔深度应满足复合地基变形验算的厚度要求。

4.2.4 勘察试验应根据场地岩土类别采用标准贯入试验、动力触探试验和旁压试验等原位测试方法，并应符合下列规定：

1 对复合地基性能有显著影响的各主要土层逐层进行测试。

2 预计作为桩端持力层的黏性土层每 1 m 测试一次，对卵石土应连续进行测试。

3 遇有厚度较大且分布均匀的硬塑~坚硬黏性土层时，每 2 m 测试一次；当土层性质不均匀时，应加密测试数量。

4 对预计作为桩端持力层采用 N_{120} 或旁压试验进行测试的全风化或强风化岩层，击数达到或超过 50 击时，应记录实际贯入击数和深度。

5 对饱和黏性土和结构特征明显的土层，宜采用十字板剪切试验测定灵敏度，并评价施工对其结构性及其环境的不利影响。

4.2.5 桩端拟置于基岩时，应结合钻孔资料进行钻孔声波测试；测试孔数量应能控制整个场地，且不少于 3 孔。

4.2.6 砂卵石层和风化岩层勘探孔应采用植物胶等有效的护壁方法钻进，岩芯采取率应大于 85%。

4.2.7 勘探深度范围内每一岩土层应采取原状试样进行室内试验。遇水软化的岩基应进行软化试验，结构特征明显的土层应进行灵敏度试验。岩土取样应符合下列规定：

1 当土层性质不均匀时，应增加取样数量；

- 2 取样孔数量不应少于勘探孔总数的 1/3；
- 3 预计作为桩端持力层的岩土层每 1 m 一组；
- 4 遇有厚度较大且分布均匀的硬塑~坚硬黏性土层或基岩每 2 m 一组。

4.2.8 复合地基设计等级为甲级和设计有要求时，对拟选为桩端持力层的岩土层，勘察时宜通过深层载荷试验确定相关参数。

4.3 技术成果

4.3.1 补充勘察文字报告除符合相关技术标准规定外，尚应包括下列主要内容：

- 1 提供不同成桩工艺的桩极限侧阻力和极限端阻力等参数；
- 2 提供水、土腐蚀等级和遇水软化的岩基软化系数，并提出耐久性处置措施建议；
- 3 按本规程附录 A 和相应试验成果确定岩土体变形指标，并按本规程附录 B 确定基准基床系数；
- 4 按本规程附录 C 进行岩石分类，提出不同风化程度岩基面高程等高值突变区域及处理建议；
- 5 对满足本规程 3.0.2 条情况、浅部存在软弱层的场地，提出处理建议；
- 6 评价岩土层对成桩工艺及成桩灌注混凝土质量的影响，提出减少施工扰动地基、影响环境的预防措施建议；
- 7 评价地下水对桩体施工的影响及控制地下水的措施；

8 抗震设防区按设防烈度提供拟建场地的抗震设计条件，包括场地土的类型、建筑场地类别、地基土有无液化等的判定，评价液化程度（等级）及其危害程度并提出处理建议；

9 对存在特殊性岩土、洞穴、破碎岩体或软弱夹层等场地，评价其危害程度并提出处理建议。

4.3.2 补充勘察报告图件除符合相关技术标准规定外，尚应包括下列主要内容：

- 1 原位测试试验及必要的对比测试结果；
- 2 可作为桩端持力层的各层岩土层顶板高程等值线图。

5 设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 大直径素混凝土桩复合地基设计应具备下列资料：
- 1 符合本规程第3章、第4章规定的岩土工程勘察资料；
 - 2 建设工程资料应包括下列内容：
 - 1) 工程总平面布置图；
 - 2) 工程结构类型、荷载分布和工程使用条件及安全等级；
 - 3) 对应于荷载效应标准组合时的基底压力和对应于荷载效应永久组合时的基底压力；
 - 4) 工程基础平面图及地下结构剖面图；
 - 5) 结构设计要求的承载力和变形控制值，以及设备对基础竖向及水平位移的要求。
 - 3 场地及环境条件资料应包括下列内容：
 - 1) 地下管线及障碍物的分布；
 - 2) 可能受桩施工影响的邻近结构物的地基及基础情况等；
 - 3) 场地周围地表水汇流、排泄条件和渗漏情况；
 - 4) 轨道交通、地下结构情况。
 - 4 施工条件应包括下列内容：
 - 1) 施工机械设备条件、动力条件以及对地质条件的适应性；
 - 2) 水、电及有关建筑材料的供应条件；

3) 施工机械设备的进出场及现场运行条件。

5 类似工程经验或试验性施工资料。

5.1.2 对岩溶、滑坡、液化等不良地质作用以及不稳定的边坡、涉水等不良地质条件的场地，复合地基施工前应按国家现行有关标准和工程需要完成整治和处理。

5.1.3 符合本规程 3.0.2 条和遇有下列情况之一时，应对拟作为桩间土的地基进行预先处理：

- 1 可能产生负摩阻力的场地；
- 2 存在天然或人工洞穴、既有建筑基础、承压水等地段；
- 3 使用期间地表可能大面积堆载的场地；
- 4 其他不适合直接作为桩间土的场地。

5.1.4 大直径素混凝土桩复合地基设计计算和验算应符合下列规定：

- 1 承载力计算和软弱下卧层承载力验算；
- 2 复合地基及其软弱下卧层变形计算；
- 3 对持力层坡度大于 10% 或桩端位于不同持力层、位于坡地和涉水地段应进行最不利荷载效应组合下的局部稳定性及整体稳定性验算；
- 4 复合地基均匀性分析；
- 5 桩身抗压强度验算；
- 6 受水平荷载时，桩身水平承载力验算。

5.1.5 设计采用的单桩竖向承载力应符合下列规定：

- 1 遇有下列情况之一时，应通过试验性施工的单桩静载荷试验确定，在同一条件下的试验桩数量不应少于 3 根；

- 1) 复合地基设计等级为甲级；
- 2) 地质条件复杂的乙级；
- 3) 缺少地区经验的丙级；
- 4) 设计有特殊要求的工程。

2 地质条件简单设计等级为乙级的工程，可参照地质条件相似的试验性施工资料并结合地区经验确定；

3 复合地基设计等级为丙级的工程，可根据工程经验确定；

4 初步设计时可参照勘察报告进行估算，并最终通过试验桩验证确定。

5.1.6 复合地基设计文件应包括下列内容：

1 设计总说明，包括工程概况、设计要求、场地地质条件、设计依据、计算参数及施工工艺选择、质量控制标准及检验项目等要求；

2 施工工艺、施工程序、材料等要求；

3 特殊场地条件处置、预先处理设计、地下水控制等；

4 复合地基性能检测和监测项目及方法、环境安全监测内容及技术要求；

5 图件应包括环境条件平面、布桩平面、主要地层布桩后剖面、特殊部位处理详图等。

5.2 桩型选择与布设

5.2.1 桩承载类型应综合地基条件、上部结构类型、荷载分布特征等因素进行确定，并符合下列规定：

1 同一结构单元的桩型、桩径应相同，桩径宜为 800 ~ 1 400 mm；

2 上硬下软地基宜以摩擦型为主，并适度考虑软弱地层的桩端阻力作用；

3 上软下硬地基宜以端承型为主，并适度考虑软弱地层的侧阻力作用；

4 受水平荷载时宜采用构造性配筋或计算配筋的混凝土灌注桩，并验算水平承载力。

5.2.2 桩成孔工艺应综合地基、施工、环境等条件因素进行确定，并符合下列要求：

1 工艺成熟、对地层扰动小、成桩质量可靠；

2 对周边环境、基坑边坡稳定等不利影响较小；

3 进行桩间土预先处理的场地应采取与复合地基机理同类型的工艺；

4 同一结构单元的施工工艺宜相同；

5 场地地质条件复杂时应通过试验性施工确定。

5.2.3 桩端持力层选择宜符合下列规定：

1 分布均匀、承载力相对高、压缩性相对小、无软弱下卧层的岩土层；

2 坡地、岸边等地段应选用潜在滑动面以下、不受水位波动影响的岩土层；

3 岩溶或溶蚀场地应选用相对均匀稳定且承载力及厚度满足稳定和变形要求的岩土层；

4 同一结构单元不宜选用承载力、压缩性等差异较大的岩

土层。

5.2.4 桩端进入持力层的深度应符合下列要求：

1 卵石层人工挖孔桩不应小于 1 倍桩径，钻孔灌注桩不宜小于 2 倍桩径；

2 强风化岩层不应小于 2 倍桩径，中等风化岩层不宜小于 1 倍桩径；

3 经处理后的特殊性岩土、岩溶以及液化地基不应小于 3 倍桩径。

5.2.5 桩位布置应符合下列规定：

1 同一结构单元的桩应使桩群形心与上部标准荷载组合的合力作用点相重合；

2 应采用相同桩径均匀布桩，上部结构荷载分布和桩周岩土层厚度变化较大时，应采用变刚度方式布桩；

3 条形基础、多桩独立基础等应按梅花形布桩，独立基础桩数量不少于 3 根；

4 承担竖向荷载的边桩中心线应在基础外缘线之外，其与基础外缘线的距离不大于 $2/3$ 倍桩径；

5 抗震设防场地和岩土构成复杂、软弱结构面组合不利、岩体风化带变异较大和邻近边坡等场地，应在基础荷载附加应力扩散范围内设置 1~2 排保护桩。

5.2.6 桩最小中心距宜满足表 5.2.6 的要求。成桩扰动影响明显时，桩中心距可适当加大。

表 5.2.6 桩最小中心距比值

岩土类型	桩中心距与桩身直径比 的最小值		桩中心距与桩身直径比 的最大值
	人工挖孔	机械钻孔	
施工扰动不利影响显著的 岩土层	3.0	2.8	4
施工扰动不利影响较小的 岩土层	2.5	2.5	3.5

5.3 强度计算

5.3.1 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基承载力试验确定。初步设计时可按下式计算：

$$f_{spk} = \lambda m R_a / A_p + \beta (1 - m) f_{sk} \quad (5.3.1)$$

式中 f_{spk} ——复合地基承载力特征值，kPa；

λ ——单桩承载力发挥系数，宜按地区经验取值，无经验时可取 0.85~0.95，褥垫层较厚时取小值；

m ——面积置换率， $m = d^2/d_e^2$ ；

d ——桩身直径，m；

d_e ——单桩分担的地基处理面积的等效圆直径[按等边三角形布桩时，取 $1.05 s_0$ ；按正方形布桩时，取 $1.13 s_0$ ；按矩形布桩时，取 $1.13 \sqrt{s_x s_y}$ 值。其中 s_0 、 s_x 、 s_y 分别是桩间距、纵向桩间距、横向桩间距 (m)]，m；

R_a ——单桩竖向承载力特征值，kN；

A_p ——桩身截面积， m^2 ；

β ——桩间土承载力发挥系数，宜按地区经验取值，无经验时可取 0.75~0.90，天然地基承载力较高、施工扰动小或桩身范围全基岩时取大值；

f_{sk} ——基础底面以下 3 倍桩径范围内天然地基承载力特征值最低值 (kPa)，当浅层地基为上硬下软且硬层厚度超过 3 倍桩径时，可取 5 倍桩径范围内天然地基承载力特征值厚度加权平均值。

5.3.2 单桩竖向承载力特征值确定应符合下列规定：

1 具有可靠单桩载荷试验成果时，取单桩竖向极限承载力的 0.5 倍；

2 无单桩载荷试验资料时，宜按下式估算：

$$R_a = u_p \sum q_{sia} l_i + \alpha q_{pa} A_p \quad (5.3.2)$$

式中 R_a ——单桩竖向承载力特征值，kN；

u_p ——桩身周长 (m)，设有扩大段时应分段计算；

q_{sia} ， q_{pa} ——基础底面以下第 i 层上的桩侧阻力、桩端阻力特征值 (kPa)，宜依据现场试验或地勘报告等资料取值，无相关资料时可按表 5.3.2-1、5.3.2-2 取值；

l_i ——第 i 层桩间岩土层的厚度，m；

α ——桩端端阻力发挥系数，应按地区经验确定，缺少地区经验时，可根据成桩工艺取 0.75~0.9，桩端土为低压缩性土时取大值；

A_p ——桩端面积或扩大端面积， m^2 。

表 5.3.2-1 桩侧阻力特征值 q_{sia} (单位: kPa)

岩土名称	岩土状态	钻孔桩	人工挖孔灌注桩
粉土	$e > 0.9$	12 ~ 20	15 ~ 25
	$0.75 \leq e \leq 0.9$	20 ~ 30	25 ~ 35
	$e < 0.75$	30 ~ 40	35 ~ 45
黏性土	$I_L > 1$	10 ~ 20	15 ~ 25
	$0.75 < I_L \leq 1$	20 ~ 25	25 ~ 30
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	25 ~ 35	30 ~ 35
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	35 ~ 40	40 ~ 45
	$0 < I_L \leq 0.25$	45 ~ 50	50 ~ 55
	$I_L \leq 0$	50 ~ 55	55 ~ 60

续表

岩土名称	岩土状态	钻孔桩	人工挖孔灌注桩
细砂	稍密	15 ~ 20	25 ~ 30
	中密	20 ~ 30	25 ~ 35
	密实	30 ~ 40	35 ~ 45
中砂	中密	25 ~ 35	30 ~ 35
	密实	35 ~ 45	35 ~ 45
粗砂	中密	35 ~ 45	35 ~ 45
	密实	45 ~ 55	45 ~ 55
砾砂	中密、密实	55 ~ 65	55 ~ 65
卵石	松散	40 ~ 50	45 ~ 45
	稍密	60 ~ 70	55 ~ 65

	中密	70 ~ 80	65 ~ 75
	密实	80 ~ 90	75-85
软质岩	全风化	40 ~ 50	50 ~ 60
	强风化	50 ~ 80	60 ~ 90
	中风化	120 ~ 150	150 ~ 180

3 单桩竖向承载力特征值不应大于按桩身混凝土强度等级确定的承载力。

表 5.3.2-2 桩端阻力特征值 q_{pa} (单位: kPa)

岩土名称	岩土状态	钻孔灌注桩	人工挖孔灌注桩
黏土	硬塑	400 ~ 600	600 ~ 800
卵石	稍密	500 ~ 1000	1000 ~ 1500
	中密	1000 ~ 1200	1500 ~ 2500
	密实	1200 ~ 1500	2500 ~ 4000
软质岩	全风化	500 ~ 800	800 ~ 1200
	强风化	1200 ~ 1800	2000 ~ 2200
	中风化	2000 ~ 2500	2200 ~ 2400

5.3.3 桩体混凝土强度应按下列公式计算确定，并取其最大值：

$$f_{cu} \geq 4\lambda [R_a/A_p] \quad (5.3.3-1)$$

$$f_{cu} \geq (4\lambda Ra/A_p)[1 + \gamma_m(d_0 - 0.5)/f_{spa}] \quad (5.3.3-2)$$

式中 f_{cu} ——桩体混凝土试块(边长 150 mm 立方体)标准养护 28 d 立方体抗压强度平均值, kPa;

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

d_0 ——基础埋置深度, m;

λ ——单桩承载力发挥系数，宜按地区经验取值，无经验时可取 0.85 ~ 0.95；

R_a ——单桩竖向承载力特征值，kN；

A_p ——桩身截面积， m^2 ；

f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值，kPa。

5.3.4 遇有符合本规程第 3.0.2 条、第 5.1.3 条的情况时，预先处理地基设计应符合下列规定：

1 对浅部存在软弱土或欠固结土，宜先采用夯实、挤密方法或低强度桩复合地基等处理；

2 对液化地基，可采用碎石桩或砂石桩等方法处理；

3 对处理欠固结土、液化土的增强体，其桩长应穿越欠固结土层、液化土层；

4 采用桩土复合地基处理时，其持力层、桩型及施工工艺的确定应符合本规程第 5.2 节的相关规定。

5 处理地基承载力特征值和复合土层的压缩模量，应采用复合地基静载荷试验确定，初步设计时，可采用现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 中多桩型复合地基的有关规定计算。

5.3.5 复合地基承载力深宽修正可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 有关规定执行。当筏板基础周边具有一定深度基坑支护桩约束、整体刚度具有进行荷载再分担效果的大底盘筏板基础时，深度修正系数依据工程经验适度提高。

5.4 变形计算

5.4.1 复合地基变形计算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的有关规定执行；对以端承型为主且桩端下存在软弱层的复合地基，复合地基设计等级为甲级或对沉降有严格要求时可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 进行沉降计算。

5.4.2 复合土层压缩模量采用复合地基承载力对天然地基承载力的提高倍数的方法确定，复合地基承载力对天然地基承载力的提高倍数宜按下式计算：

$$\zeta = f_{\text{spk}}/f_{\text{ak}} \quad (5.4.2)$$

式中 ζ ——复合地基承载力与桩间土天然承载力之比；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值，kPa；

f_{sk} ——基础底面以下 3 倍桩径范围内天然地基承载力特征值最低值 (kPa)，当浅层地基为上硬下软且硬层厚度超过 3 倍桩径时，可取 5 倍桩径范围内天然地基承载力特征值厚度加权平均值，其下各层取各自的天然地基承载力特征值。

5.4.3 复合地基变形应按下列公式计算：

$$s = \psi_{\text{Eas}} s' \quad (5.4.3-1)$$

$$E_{\text{as}} = (\sum A_i + \sum A_j) / (\sum A_i / E_{\text{si}} + \sum A_j / E_{\text{sj}}) \quad (5.4.3-2)$$

式中 s ——复合地基计算变形量，mm；

s' ——按分层总和法计算的复合土层变形量，mm；

ψ_{Eas} ——变形计算经验系数，根据沉降观测资料及经验确定，

无经验时可按表 5.4.3 取值；

E_{as} ——变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按(5.4.3-2)
计算：

A_i ——基底下土层第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

A_j ——加固土层以下第 j 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

E_{s_i} ——基底下第 i 层土的压缩模量值 (MPa)，桩长范围内按复合土层的压缩模量取值；

E_{s_j} ——加固土层以下第 j 层土的压缩模量值，MPa。

表 5.4.3 沉降计算经验系数 ψ_{Eas}

$E_{as}(\text{MPa})$	≤ 4.0	7.0	15.0	20.0	35.0
ψ_{Eas}	1.00	0.70	0.40	0.25	0.20

5.4.4 复合地基计算变形值应小于建筑物正常使用极限状态时的允许变形值，并应满足下式要求：

$$s + s_1 + s_2 \leq [s] \quad (5.4.4)$$

式中 s ——复合土层计算变形量 (mm)，按本规程第 5.4.3 条计算；

s_1 ——复合地基下天然地基计算变形量 (mm)，按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 有关规定进行计算；

s_2 ——褥垫层压缩变形量 (mm)，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 有关规定进行计算；

$[s]$ ——建筑物在正常使用极限状态下的变形允许值，各类建筑物的地基变形允许值按现行国家标准《建筑地基基

础设计规范》GB50007 规定采用对于框架结构，应由相邻柱基的沉降差控制（对于多层或高层建筑，应由倾斜控制，必要时尚应控制平均沉降量）。

5.4.5 复合地基基床系数可采用下列方法计算确定，并宜通过两种或多种方法相互验证：

1 当有实测基底反力和基础沉降资料时，可按下式计算确定：

$$K_{ps} = p_{ip} / s_{ip} \quad (5.4.5-1)$$

式中 K_p ——依据实测基底反力和基础沉降计算的复合地基平均基床系数， kN/m^3 ；

p_{ip} ——基础各划分区块基底实测反力平均值， kPa ；

s_{ip} ——基础各划分区块实测基础沉降平均值， m 。

2 当有由大量实际工程实测沉降数据资料统计分析获取的沉降经验系数时，可按下式计算确定：

$$K_s = p_0 / (\psi_c s_{ip}) \quad (5.4.5-2)$$

式中 K_s ——依据实测基础沉降和设计基底平均压力计算的复合地基平均基床系数， kN/m^3 ；

p_0 ——设计计算的基底平均压力值， kPa ；

s_{ip} ——采用分层总和法计算的基础沉降平均值， m ；

ψ_c ——依据实测基础沉降资料获取的地方沉降修正系数。

3 当有单桩复合地基静载荷试验资料时，可按下式计算确定：

$$K_{sp} = [(p_2 - p_1) / (s_2 - s_1)] / [(m_0 + 0.5) / 1.5 m_0] \quad (5.4.5-3)$$

式中 K_{sp} ——依据单桩复合地基静载荷试验资料计算的复合地基

平均基床系数， kN/m^3 ；

p_1, p_2 ——单桩复合地基静载荷试验的荷载-沉降曲线呈线性变化阶段的选取计算点压力强度的平均值， kPa ；

s_1, s_2 ——单桩复合地基静载荷试验的荷载-沉降曲线上对应 $p_1、p_2$ 处的稳定沉降量， m ；

m_0 ——基础长度与基础宽度的比值；

4 当有单桩载荷试验和桩间土载荷试验资料时，可采用下式计算确定：

$$K_{sy} = p_y/s_y \quad (5.4.5-4)$$

式中 K_{sy} ——依据单桩载荷试验和桩间土载荷试验计算的复合地基平均基床系数， kN/m^3 ；

s_y ——载荷试验荷载-沉降曲线上呈线性变化阶段的最大变形量或约定变形量， m ；

p_y ——单桩载荷试验的荷载-沉降曲线呈线性变化阶段的最大变形量对应的压力强度，或利用深井载荷试验和桩侧摩阻力试验在相同变形条件下计算获取的单桩承载力的压强， kPa 。

5.4.6 当两种以上方法确定的基床系数相差较大时，宜根据上部结构刚度及基础刚度结合工程经验采用平均值或最小值。

5.5 褥垫层

5.5.1 褥垫层材料选择应符合下列规定：

1 宜用中砂、粗砂、级配砂石或碎石等，可就地取材采用原槽砂卵石，最大粒径不宜大于 30 mm；

2 当单桩承载力较高时或沉降较大时，可在褥垫层中铺设塑料土工格栅、经过防腐处理的钢筋网片等加筋材料；

3 膨胀土、风化泥岩等地基宜采用厚度不大于 200 mm、强度等级不高于 C15 的混凝土或渗透性小的密实灰土作为褥垫层；

4 膨胀土、软岩碎料不得用作褥垫层材料。

5.5.2 褥垫层厚度宜取 100 mm ~ 300 mm，不宜大于桩身直径的 0.35 倍。

5.5.3 褥垫层应铺设至基础外边缘线且不应小于 0.5 倍的桩径；桩顶标高变化交界地段褥垫层可仅在布桩范围内铺设。

5.5.4 褥垫层压实度不应大于 0.94。

5.5.5 褥垫层压缩变形量应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007 有关规定进行计算。

5.6 构造和辅助措施

5.6.1 大直径素混凝土桩桩身混凝土应符合下列规定：

1 干作业、人工挖孔灌注桩混凝土强度等级不应低于 C20；

2 采用泥浆护壁导管法的水下混凝土按水下混凝土要求设计配合比，且其强度等级不应低于 C25。

5.6.2 人工挖孔护壁应进行专项设计，并符合下列规定：

1 混凝土强度等级应不低于桩身混凝土强度等级且不低于 C20；

2 厚度及配筋应满足稳定性要求，厚度不宜小于 100 mm；

3 护壁外侧应为齿状。

5.6.3 当桩间距较大时，可在桩顶设置强度等级不低于 C20、边长不宜小于 1.5 倍桩径、厚度不宜小于 0.5 倍桩径的桩帽以减小桩土压缩变形的影响。

5.6.4 为提高桩侧阻力和预防桩底沉渣，采取后注浆处理时应进行专项设计，后注浆处理效果应根据现场试验确定。后注浆装置和浆液配比等参数设计应符合下列规定：

1 注浆导管应采用钢管，且应与固定钢筋笼绑扎固定或焊接。

2 桩端后注浆导管及注浆阀数量宜根据桩径大小设置，直径不大于 1200 mm 时宜沿桩周对称设置 2 根，直径大于 1200 mm 时宜沿桩周均匀，且不少于 3 根。

3 桩长超过 15 m 且承载力增幅要求较高时，宜采用复式注浆，并符合下列规定：

1) 桩侧后注浆管阀设置数量应综合地层情况、桩长和承载力增幅要求等因素确定。

2) 在离桩底 5 m ~ 15 m 及以上、桩顶 8 m 以下，每隔 6 m ~ 12 m 宜设置一道桩侧注浆阀。

3) 当桩周土有粗粒土时，宜将注浆阀设置于粗粒土层下部；干作业成孔时，宜设于粗粒土层中部。

4 后注浆阀应能承受 1 MPa 以上的静水压力，注浆阀外部保护层应能抵抗砂石等硬物的刮撞而不致使管阀受损，并应具备逆止功能。

5 浆液配比、终止注浆压力、流量、注浆量等参数设计应符合

合下列规定：

1) 浆液的水灰比应根据土的饱和度、渗透性确定，饱和土水灰比宜为 0.45~0.65，非饱和土水灰比宜为 0.7~0.9，松散碎石土、砂砾宜为 0.5~0.6；低水灰比浆液宜掺入减水剂。

2) 桩端注浆终止注浆压力应根据土层性质及注浆点深度确定，对于风化岩、非饱和黏性土及粉土，注浆压力宜为 3 MPa~10 MPa；对于饱和土层，注浆压力宜为 1.2~4 MPa。软土宜取低值，密实黏性土宜取高值。

3) 注浆流量不宜超过 75 L/min。

4) 单桩注浆量应根据桩径、桩长、桩端桩侧土层性质、单桩承载力增幅及注浆方式等因素确定，可按下列式估算：

$$G_c = \alpha_p d + \alpha_s n d \quad (5.6.3)$$

式中 G_c ——注浆量 (t)，以水泥质量计；

α_p, α_s ——桩端、桩侧注浆量经验系数， $\alpha_p = 1.5 \sim 1.8$ ， $\alpha_s = 0.5 \sim 0.7$ ，对于卵石、砾石、中粗砂取较高值；

n ——桩侧注浆导管断面数；

d ——基桩设计直径，m；

5) 对单桩、桩距大于 $6d$ 的群桩和群桩初始注浆的数根基桩的注浆量应按 (5.6.3) 估算值乘以 1.2 的系数。

6) 后注浆作业开始前，宜进行注浆试验确定注浆参数。

