

前 言

根据《住房城乡建设部关于印发 2014 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》（建标 [2013] 169 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了《载体桩设计规程》JGJ 135 - 2007。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 载体桩设计；5. 载体桩复合地基设计；6. 施工；7. 验收。

本标准修订的主要内容是：

1. 增加了残积土、全风化岩、强风化岩作为被加固土层的选用及对应载体等效计算面积的取值；
2. 增加了群桩整体基础承载力验算；
3. 增加了载体桩受拔承载力验算；
4. 增加了载体桩复合地基的设计；
5. 增加了载体桩复合地基的质量验收。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由北京波森特岩土工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行标准过程中如有意见或建议，请寄送北京市昌平区东小口镇太平家园 31 号楼北京波森特岩土工程有限公司（邮政编码：102218）。

本标准主编单位：北京波森特岩土工程有限公司
福建省泮澄建设集团有限公司

本标准参编单位：中国建筑科学研究院有限公司
清华大学
天津大学建筑设计研究院
北京市建筑设计研究院有限公司

中铁上海工程局集团有限公司
北京荣创岩土工程股份有限公司
云南大学
新土木（大连）建筑设计院有限公司
天津市勘察院
上海强劲地基工程股份有限公司
中化岩土集团股份有限公司
河北水利电力学院
河南波森特基础工程有限公司
济南波森特岩土工程技术有限公司
湖北波森特岩土工程有限公司
陕西圆极岩土科技发展有限公司
山东鑫国基础工程有限公司
北京中建建筑科学研究院有限公司
合肥工大地基工程有限公司
云南凤昇建筑工程有限公司
辽宁波森特岩土工程有限公司
内蒙古波森特岩土工程技术有限公司
山东基泰岩土工程有限公司
云南波森特岩土工程有限公司
黑龙江省桩基础工程公司
华煤建筑基础有限公司
黑龙江波森特建筑安装工程有限公司
宁夏波森特岩土工程有限公司
上海智岛建筑科技有限公司
珠海市建设工程质量监督检测站
天津市天勘建筑设计院
湖北华森德建筑工程有限公司

本标准主要起草人员：王继忠 杨启安 洪文聪 李广信
闫明礼 凌光容 徐 彤 樊军让

秦 珩	王 峰	张 亮	王庆军
邵良荣	王景军	刘全林	周玉明
李 明	邵忠心	葛宝亮	蔺忠彦
张连喜	孙玉文	崔存喜	王光亮
李湘明	杨耀明	杨立杰	兰小华
吕金色	李伟强	段世昌	周云久
王庆伟	徐 韬	张雅强	吕治辉
于克猛	张建洪	王宗禄	夏祥斗
朱建新	张 红	解志勇	刘斐然
虞佰先	高斌峰	曾毅学	刘雄鹰
王 蕊	张 凯		

本标准主要审查人员：王思敬 江欢成 顾宝和 钱力航
任庆英 许再良 康景文 高文生
柳建国 聂庆科 孙宏伟 黄 锐
王社选

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	7
4	载体桩设计	8
4.1	一般规定	8
4.2	竖向受压承载力计算	8
4.3	受拔承载力计算	14
4.4	沉降计算	16
4.5	构造	19
5	载体桩复合地基设计	21
5.1	一般规定	21
5.2	复合地基设计	21
6	施工	23
7	验收	26
	附录 A 载体桩单桩竖向抗压静载荷试验	28
	本标准用词说明	30
	引用标准名录	31

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	7
4	Design of Piles with Ram-compacted Bearing Sphere	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Calculation of Vertical Compressive Bearing Capacity	8
4.3	Calculation of Uplift Bearing Capacity	14
4.4	Calculation of Piles Foundation Deformation	16
4.5	Detailing	19
5	Design of Composite Foundation	21
5.1	General Requirements	21
5.2	Design of Composite Foundation	21
6	Construction	23
7	Acceptance	26
Appendix A	Loading Test of Piles with Ram-compacted Bearing Sphere	28
	Explanation of Wording in This Standard	30
	List of Quoted Standards	31

1 总 则

1.0.1 为使载体桩在工程应用中做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建设工程的载体桩设计、施工及验收。

1.0.3 载体桩在应用时应因地制宜，综合考虑工程地质与水文地质条件、上部结构类型和荷载特征、施工技术及环境条件等因素。

1.0.4 载体桩在设计、施工和验收时，除应符合本标准规定外，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 载体桩** piles with ram-compacted bearing sphere
由桩身和载体构成的桩。
- 2.1.2 载体** bearing sphere
桩身以下经夯实形成的承载体。分为填料载体和无填料载体。其中，填料载体由水泥砂拌合物、挤密土体和影响土体三部分构成；无填料载体由挤密土体和影响土体构成。
- 2.1.3 挤密土体** compacted soil mass
夯实填充料时桩端周围被挤密的地基土体。
- 2.1.4 水泥砂拌合物** mixture of cement and sand
一定质量比的水泥与砂加入一定量水拌合的干硬性材料。
- 2.1.5 载体桩桩长** length of piles with ram-compacted bearing sphere
桩身与载体高度之和。当载体为无填料载体时，载体高度取 0。
- 2.1.6 被加固土层** strengthened soil stratum
载体所在的土层。
- 2.1.7 载体桩的持力层** bearing stratum for piles with ram-compacted bearing sphere
载体以下直接承受载体传递荷载的土层。
- 2.1.8 三击贯入度** the total penetrations of three drives
夯实后，以锤径为 355mm、质量为 3500kg 的柱锤，落距 6.0m，连续三次锤击的累计下沉量。
- 2.1.9 等效计算面积** equivalent area
达到三击贯入度要求后，计算载体桩承载力特征值的载体等

效承载面积。

2.1.10 载体桩复合地基 composite foundation of piles with ram-compacted bearing sphere

以载体桩作为地基中的竖向增强体并与地基土共同承担荷载的人工地基，桩身可采用素混凝土、钢筋混凝土或预制构件。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

F ——相应于作用的准永久组合时作用于承台顶的竖向力；

F' ——相应于作用的准永久组合时作用于承台梁上单位长度的竖向力；

F_k ——相应于作用的标准组合时承台顶面的竖向力；

N ——相应于作用的基本组合时载体桩单桩竖向力设计值；

N_k ——相应于作用的标准组合时竖向力作用下，载体桩基桩的平均竖向力；

N_{Ek} ——相应于地震作用和荷载标准组合时载体桩基桩的平均竖向力；

N_{Ekmax} ——相应于地震作用和荷载标准组合时载体桩基桩的最大竖向力；

N_{kmax} ——相应于作用的标准组合时偏心竖向力作用下，载体桩基桩的最大竖向力；

N_p ——相应于作用的基本组合时桩顶的拉力；

N_{pk} ——相应于作用的标准组合时桩顶的拉力；

p_0 ——相应于作用的准永久组合时桩端平面的附加压力；

σ_z ——相应于作用的标准组合时作用于软弱下卧层顶面的附加应力；

σ_{zd} ——相应于作用的标准组合时按等代实体计算的作用于载体桩桩底的地基土平均附加应力。

2.2.2 抗力和材料性能

E_{s1} ——持力层的地基土压缩模量；

- E_{s2} ——软弱下卧层地基土压缩模量；
- E_{si} ——桩端平面下第 i 层土在自重压力至自重压力加附加压力作用段的压缩模量；
- e ——土的孔隙比；
- f_a ——经修正后的载体桩持力层地基承载力特征值；
- f_{ak} ——天然地基承载力特征值；
- f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值；
- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
- f_{rk} ——岩石单轴饱和抗压强度标准值；
- f_{spk} ——载体桩复合地基承载力特征值；
- f'_y ——纵向主筋抗压强度设计值；
- f_y ——纵向主筋抗拉强度设计值；
- G_{gp} ——群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数的平均重量，地下水以下扣除浮力；
- G_k ——载体桩基承台和其上部土的自重标准值，对于稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；
- G'_k ——单位长度梁及其上土的自重标准值；
- G_p ——基桩自重；
- I_L ——土的液性指数；
- Q_{uk} ——载体桩单桩竖向抗压极限承载力标准值；
- q_{sik} ——第 i 层土极限侧阻力标准值；
- R_a ——载体桩单桩竖向抗压承载力特征值；
- T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩的受拔极限承载力标准值；
- T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时基桩的受拔极限承载力标准值；
- γ ——承台底以上土的加权平均重度，地下水以下采用浮重度；
- γ_m ——软弱下卧层顶面以上土的加权平均重度，地下水以下采用浮重度；
- γ_n ——桩底以上地基土的加权平均重度；
- θ ——压力扩散角；

φ ——桩身穿过土层的等效有效内摩擦角。

2.2.3 几何参数

A ——承台面积；

A_c ——载体等效计算面积；

A_p ——桩身截面面积；

A_s ——纵向主筋截面面积；

B_0 ——桩群外缘矩形底面的短边边长；

D ——抗拔承载力计算的等效直径；

d ——混凝土桩身直径；

d_0 ——水泥砂拌合物换算成球体的等效直径；

d_h ——承台埋深；

L_0 ——桩群外缘矩形底面的长边边长；

l ——直杆段混凝土桩身长度；

l_i ——桩长范围内第 i 层土的厚度；

s ——桩基最终沉降量；

t ——载体底面计算位置至软弱层顶面的距离；

u_i ——桩身抗拔破坏面的周长；

u_p ——群桩抗拔破坏时外缘矩形截面周长；

z ——地面至软弱下卧层顶面的距离；

z_d ——地面至载体桩底的距离；

$\Delta s'_i$ ——在计算深度范围内，第 i 层土的计算变形量；

$\Delta s'_n$ ——由计算深度位置向上取厚度为 Δz_n 的土层计算变形量；

ΔR ——扩散等效计算宽度；

ΔS ——载体桩受拔承载力计算时的计算半径增量。

2.2.4 计算系数

K ——安全系数；

m ——载体桩复合地基面积置换率；

n ——桩端平面下压缩层范围所划分的土层总数；

n_p ——承台下基桩桩数；

α ——地基土承载力提高系数；

$\bar{\alpha}$ ——桩端平面下土的平均附加应力系数；

β ——考虑施工挤土后桩侧阻力的提高系数；

λ_i ——侧阻力抗拔折减系数；

λ_z ——复合地基单桩竖向承载力的发挥系数；

λ_s ——桩间土承载力的发挥系数；

ψ_c ——成桩工艺系数；

ψ_p ——沉降计算经验系数；

ψ_t ——折减系数。

3 基本规定

3.0.1 黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、全风化岩、强风化岩及中风化岩可作为载体桩的持力层。

3.0.2 黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、全风化岩、强风化岩等土层（岩层）可选作载体桩的被加固土层。当选用软塑-可塑状态的黏性土、素填土、杂填土、湿陷性土作为被加固土层时，应通过成桩试验、载荷试验确定其适用性。

3.0.3 对缺乏经验的地质条件下进行载体桩设计，应通过成孔、成桩试验性施工和载荷试验确定其适用性。

3.0.4 应根据地质条件、上部荷载、施工工艺与设备及在类似条件下的工程经验等因素综合确定载体桩设计参数。

3.0.5 载体施工填料应采用水泥砂拌合物。桩径为 300mm～500mm 的载体桩，填料量不宜大于 0.8m^3 ；桩径为 500mm～800mm 的载体桩，填料量不宜大于 1.2m^3 。当填料量超过限值时，应调整被加固土层。

3.0.6 载体桩设计时应进行单桩和群桩承载力验算，群桩承载力可按等代实体基础进行验算。

3.0.7 载体桩可作为桩基础的基桩和复合地基的竖向增强体。

3.0.8 桩身可采用现浇混凝土和混凝土预制构件，当地下水或土对混凝土或混凝土中的钢筋有腐蚀性时，桩身材料应满足抗腐蚀要求。

3.0.9 载体桩施工可采用锤击跟管、振动沉管、静压、旋挖、液压锤、潜孔锤等成孔施工工艺。

3.0.10 载体桩施工时，应控制相邻桩的上浮量。对于桩身混凝土已达到终凝的相邻桩，其上浮量不应大于 20mm；对于桩身混凝土处于流动状态的相邻桩，其上浮量不应大于 50mm。

4 载体桩设计

4.1 一般规定

4.1.1 载体桩的设计等级应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

4.1.2 载体桩设计时所采用的作用组合和抗力限值应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

4.1.3 载体桩桩间距不宜小于 3 倍桩身直径，当被加固土层为含水量大于 20% 的黏性土时，桩间距不宜小于 4 倍桩身直径；施工时不得影响相邻桩的施工质量；当被加固土层为粉土、砂土或碎石土时，桩间距尚不宜小于 1.6m，当被加固土层为含水量大于 20% 的黏性土时，桩间距不宜小于 2.0m。

4.1.4 承台的抗弯、抗剪、抗冲切验算方法应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

4.1.5 承台（梁）的构造应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

4.2 竖向受压承载力计算

4.2.1 载体桩竖向受压承载力计算应符合下列规定：

1 作用标准组合应符合下列规定：

1) 轴心竖向力作用下应符合下式要求：

$$N_k \leq R_a \quad (4.2.1-1)$$

2) 偏心竖向力作用下除应满足公式（4.2.1-1）外，尚应满足下式要求：

$$N_{k\max} \leq 1.2R_a \quad (4.2.1-2)$$

2 地震作用和荷载标准组合应符合下列规定：

1) 轴心竖向力作用下应符合下式要求：

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (4.2.1-3)$$

2) 偏心竖向力作用下, 除应符合公式 (4.2.1-3) 外, 尚应符合下式要求:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R_a \quad (4.2.1-4)$$

式中: N_k ——相应于作用的标准组合时竖向力作用下, 载体桩基桩的平均竖向力 (kN);

N_{kmax} ——相应于作用的标准组合时偏心竖向力作用下, 载体桩基桩的最大竖向力 (kN);

N_{Ek} ——相应于地震作用和荷载标准组合时载体桩基桩的平均竖向力 (kN);

N_{Ekmax} ——相应于地震作用和荷载标准组合时载体桩基桩的最大竖向力 (kN);

R_a ——载体桩单桩竖向受压承载力特征值 (kN)。

4.2.2 载体桩单桩竖向受压承载力特征值的确定应符合下列规定:

1 桩基设计等级为甲级和地质条件复杂的乙级载体桩基础, 应通过单桩竖向静载荷试验确定单桩竖向受压承载力特征值, 按本标准附录 A 的规定执行。同一条件下试验数量不应少于 3 根。

2 载体桩单桩竖向受压承载力特征值应按下式计算:

$$R_a = Q_{uk}/K \quad (4.2.2)$$

式中: Q_{uk} ——载体桩单桩竖向受压极限承载力标准值 (kN);

K ——安全系数, 取 $K=2$ 。

4.2.3 初步设计时, 对于桩长小于 30m 的载体桩, 单桩竖向受压承载力特征值计算应符合下列规定:

1 桩身范围内无液化土层时, 可采用下式估算:

$$R_a = f_a \cdot A_c \quad (4.2.3-1)$$

式中: f_a ——经修正后的载体桩持力层承载力特征值 (kPa), 承载力修正应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行, 其中宽度修正系数为零;

A_c ——载体等效计算面积 (m^2)，宜按地区经验确定，无地区经验且桩径为 450mm~500mm 时可按表 4.2.3 选取。当桩径为 350mm~450mm 时，表中 A_c 值应乘以 0.85~0.95，当桩径为 500mm~800mm 时，表中 A_c 值应乘以 1.1~1.3，桩径小时取小值，桩径大时取大值。

2 当桩端持力层为中风化岩层，且载体为无填料载体时，单桩承载力计算中 A_c 应取桩身截面面积， f_a 应根据载荷试验或由下式确定：

$$f_a = \psi_r f_{rk} \quad (4.2.3-2)$$

式中： f_{rk} ——岩石单轴饱和抗压强度标准值 (kPa)；

ψ_r ——折减系数，根据地方经验确定。

3 当桩身穿过液化土层时，应考虑液化对单桩承载力的影响，计算应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行。

表 4.2.3 载体等效计算面积 A_c (m^2)

被加固 土层土性		三击贯入度 (cm)				
		<10	10	20	30	>30
黏性 土	$0.75 < I_L \leq 1.00$	—	2.2~2.5	1.8~2.2	1.5~1.8	<1.5
	$0.25 < I_L \leq 0.75$	—	2.5~2.8	2.2~2.5	1.9~2.2	<1.9
	$0.00 < I_L \leq 0.25$	3.2~3.6	2.8~3.2	2.4~2.8	2.1~2.4	<2.1
杂填土		2.6~3.0	2.3~2.6	2.0~2.3	1.7~2.0	<1.7
粉土	$e > 0.8$	2.6~2.9	2.3~2.6	2.0~2.3	1.7~2.0	<1.7
	$0.7 < e \leq 0.8$	3.0~3.3	2.7~3.0	2.4~2.7	2.1~2.4	<2.1
	$e \leq 0.7$	3.3~3.7	2.9~3.3	2.5~2.9	2.2~2.5	<2.2
粉砂 细砂	松散-稍密	3.2~3.6	2.8~3.2	2.4~2.8	2.1~2.4	<2.1
	中密-密实	3.7~4.2	3.2~3.7	2.7~3.2	2.3~2.7	<2.3
中砂 粗砂	松散-稍密	3.6~4.1	3.1~3.6	2.6~3.1	2.2~2.6	<2.2
	中密-密实	4.3~4.8	3.8~4.3	3.3~3.8	2.8~3.3	—

续表 4.2.3

被加固 土层土性		三击贯入度 (cm)				
		<10	10	20	30	>30
碎石 土	松散-稍密	3.9~4.5	3.4~3.9	2.9~3.4	—	—
	中密-密实	4.6~5.2	4.0~4.6	3.4~4.0	—	—
残积土		3.8~4.2	3.4~3.8	3.0~3.4	—	—
全风化岩		4.0~4.4	3.6~4.0	3.2~3.6	—	—
强风化岩		4.4~4.9	4.0~4.4	—	—	—

注：表中 e 为土的孔隙比； I_L 为土的液性指数。

4.2.4 载体桩单桩承载力除应按本标准第 4.2.3 条估算外，尚应进行正截面受压承载力验算，并应符合下列规定：

1 当桩顶以下 5 倍桩身直径范围内的螺旋式箍筋间距不大于 100mm 时，应符合下式要求：

$$N \leq \phi_c f_c A_p + 0.9 f_y A_s \quad (4.2.4-1)$$

2 当桩顶以下 5 倍桩身直径范围内的螺旋式箍筋间距大于 100mm 时，应符合下式要求：

$$N \leq \phi_c f_c A_p \quad (4.2.4-2)$$

式中： N ——相应于作用基本组合时载体桩单桩桩顶竖向力设计值 (kN)；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；

f'_y ——纵向主筋抗压强度设计值 (kPa)；

A_s ——纵向主筋截面面积 (m^2)；

A_p ——桩身截面面积 (m^2)；

ϕ_c ——成桩工艺系数，桩身为预制混凝土构件时取 0.85，现场灌注时取 0.75~0.90，桩身挤土效应明显时

取低值，挤土效应不明显时取高值，桩身外侧有水泥土桩时取高值。

4.2.5 当桩间距小于 6 倍桩身直径，载体桩群桩基础持力层下受力范围内存在软弱下卧层时，应按下列公式进行软弱下卧层承载力验算：

$$\sigma_z + \gamma_m z \leq f_{az} \quad (4.2.5-1)$$

$$\sigma_z = \frac{F_k + G_k - \gamma A d_h - \frac{3}{2}(L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(L_0 + 2\Delta R + 2t \cdot \tan\theta)(B_0 + 2\Delta R + 2t \cdot \tan\theta)} \quad (4.2.5-2)$$

式中： σ_z ——相应于作用的标准组合时软弱下卧层顶面的附加压力 (kPa)；

γ ——承台底以上土的加权平均重度 (kN/m^3)，地下水以下采用浮重度；

z ——地面至软弱下卧层顶面的距离 (m)；

d_h ——承台埋深 (m)；

A ——承台面积 (m^2)；

γ_m ——软弱下卧层顶面以上土的加权平均重度，地下水以下采用浮重度 (kN/m^3)；

q_{sik} ——第 i 层土极限侧阻力标准值 (kPa)，根据经验确定或按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行；

l_i ——桩长范围内第 i 层土的厚度 (m)；

t ——载体底面计算位置至软弱层顶面的距离 (m)；

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

F_k ——相应于作用的标准组合时承台顶面的竖向力 (kN)；

G_k ——载体桩基承台和其上部土自重标准值，对于稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力 (kN)；

L_0 、 B_0 ——桩群外缘矩形底面的长、短边边长 (m) (图 4.2.5)；

ΔR ——扩散等效计算宽度 (m)，可取 0.6m~1.0m，当 A_e 值较小时，取小值；当 A_e 值较大时，取大值；
 θ ——压力扩散角 (°)，可按表 4.2.5 取值。

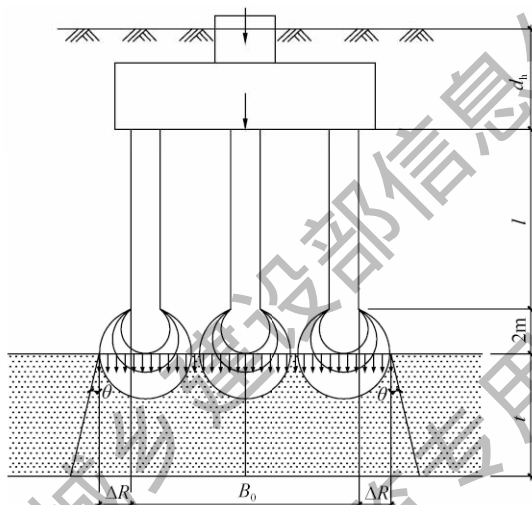


图 4.2.5 软弱下卧层计算示意
 l —直杆段混凝土桩身长度

表 4.2.5 地基压力扩散角

E_{s1}/E_{s2}	l/B_k	
	0.25	0.50
1	4°	12°
3	6°	23°
5	10°	25°
10	20°	30°

- 注：1 $B_k = B_0 + 2\Delta R$ ；
 2 E_{s1} 、 E_{s2} 分别为持力层和软弱下卧层的地基土压缩模量；
 3 l/B_k 小于 0.25 时取 0°，大于 0.25 且小于 0.5 时按内插取值，大于 0.50 时取 0.50 对应的扩散角。

4.2.6 对于独立柱基和满堂布桩的基础，应按下列公式进行群

桩整体基础承载力验算：

$$\sigma_{zd} + \gamma_n z_d \leq f_a \quad (4.2.6-1)$$

$$\sigma_{zd} = \frac{F_k + G_k - \gamma A d_h - \frac{3}{2}(L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(L_0 + 2\Delta R)(B_0 + 2\Delta R)} \quad (4.2.6-2)$$

式中： σ_{zd} ——相应于作用的标准组合时按等代实体计算的作用于载体桩桩底的地基土平均附加应力 (kPa)；

γ_n ——桩底以上地基土的加权平均重度 (kN/m³)；

z_d ——地面至载体桩底的距离 (m)。

4.3 受拔承载力计算

4.3.1 抗拔载体桩应将钢筋笼（锚杆）嵌入载体内部（图 4.3.1），并按下列公式验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的受拔承载力：

$$N_{pk} \leq T_{gk}/2 + G_{gp} \quad (4.3.1-1)$$

$$N_{pk} \leq T_{uk}/2 + G_p \quad (4.3.1-2)$$

式中： N_{pk} ——相应于作用的标准组合时桩顶的拉力 (kN)；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩的受拔极限承载力标准值 (kN)，可按本标准第 4.3.2 条确定；

T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时基桩的受拔极限承载力标准值 (kN)，可按本标准第 4.3.2 条确定；

G_{gp} ——群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数的平均重量 (kN)，地下水以下扣除水的浮力；

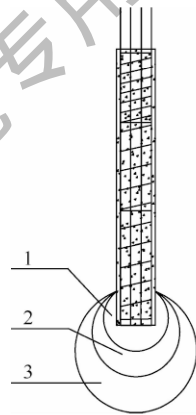


图 4.3.1 抗拔载体桩构造

1—水泥砂拌合物；

2—挤密土体；

3—影响土体

G_p ——基桩自重 (kN)，地下水位以下扣除水的浮力。

4.3.2 载体基桩及群桩的受拔极限承载力的确定应符合下列规定：

1 对于设计等级为甲级和乙级的载体桩基，基桩的受拔极限承载力应通过现场单桩抗拔静载荷试验确定。单桩抗拔静载荷试验方法及受拔极限承载力标准值取值可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。

2 如无当地经验，群桩基础及设计等级为丙级的建筑桩基，基桩的受拔极限承载力计算时，计算位置应从纵向钢筋底开始，并可按下列规定确定：

1) 群桩呈非整体破坏时，基桩的受拔极限承载力标准值可按下列公式计算：

$$T_{uk} = \sum \beta \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (4.3.2-1)$$

式中： u_i ——桩身抗拔破坏面的周长 (m)，按表 4.3.2 取值 (图 4.3.2)；

λ_i ——侧阻力抗拔折减系数，砂土取

0.55~0.75，黏性土和粉土取 0.75~0.85；

β ——考虑施工挤土后桩侧阻力的提高系数，宜取 1.05~1.15。

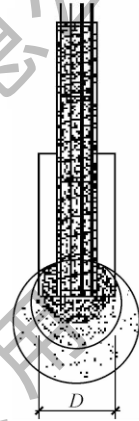


表 4.3.2 载体桩抗拔破坏面周长取值

自纵向钢筋底以上的计算深度	$\leq (4\sim 10) d$	$> (4\sim 10) d$
u_i	πD	πd

注：1 表中计算深度对于软土取低值，对于卵石、砾石取高值。

2 D 为受拔承载力计算的等效直径 (m)， $D = d_0 + 2\Delta S$ 。其中， d_0 为水泥砂拌合物换算成球体的等效直径 (m)； ΔS 为载体桩受拔承载力计算时的计算半径增量 (m)。 ΔS 取值为 0.3m~0.5m，填料多、三击贯入度小时取大值，填料少、三击贯入度大时取小值。

- 2) 群桩呈整体破坏时, 载体桩基桩的受拔极限承载力标准值可按下式计算:

$$T_{\text{gk}} = \frac{1}{n_p} \beta u_l \sum \lambda_i q_{\text{sik}} l_i \quad (4.3.2-2)$$

式中: u_l ——群桩抗拔破坏时外缘矩形截面周长 (m);
 n_p ——承台下基桩桩数。

- 4.3.3 载体抗拔桩正截面受拉承载力应按下式进行验算:

$$N_p \leq f_y A_s \quad (4.3.3)$$

式中: N_p ——相应于作用的基本组合时桩顶拉力 (kN);
 f_y ——纵向主筋抗拉强度设计值 (kPa);
 A_s ——纵向主筋截面面积 (mm^2)。

4.4 沉降计算

- 4.4.1 对于下列情况的载体桩基应进行沉降计算:

- 1 设计等级为甲级的载体桩基;
- 2 设计等级为乙级的体型复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在高压缩性土层的载体桩基;
- 3 地基条件复杂、对沉降要求严格的其他载体桩基。

- 4.4.2 载体桩基沉降变形指标应包括沉降量、沉降差、整体倾斜和局部倾斜。

- 4.4.3 载体桩基沉降变形计算值不应大于建筑桩基沉降变形允许值, 桩基沉降变形允许值应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

- 4.4.4 载体桩沉降计算宜按等代实体深基础的单向压缩分层总和法进行计算, 地基内的应力宜采用各向同性匀质弹性体变形理论, 按实体深基础进行计算, 沉降计算起始位置为桩身底面以下 2m (图 4.4.4)。

- 4.4.5 桩基最终沉降量应按下式计算:

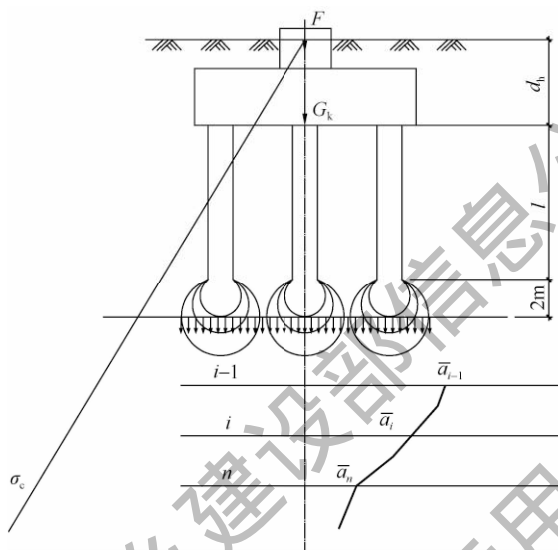


图 4.4.4 沉降计算示意

d_h —承台埋深； l —直杆段混凝土桩身长度； σ_c —土的自重压应力

$$s = \psi_p p_0 \sum_{i=1}^n \frac{z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}}{E_{si}} \quad (4.4.5)$$

式中： s ——桩基最终沉降量（mm）；

p_0 ——相应于作用准永久组合时桩端平面的附加压力（kPa）；

ψ_p ——沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定；当没有经验时，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行；

z_i 、 z_{i-1} ——沉降计算时桩端面到第 i 层、第 $i-1$ 层土底面的距离（m）；

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——桩端平面下至第 i 层、第 $i-1$ 层土底面范围内的平均附加应力系数，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行；

n ——桩端平面下压缩层范围内土层总数；

E_{si} ——桩端平面下第 i 层土在自重压力至自重压力加附加压力作用段的压缩模量 (MPa)。

4.4.6 桩端平面的附加压力计算应符合下列规定：

1 对于独立承台基础：

$$p_0 = \frac{F + G_k - \gamma d_h A}{\left[L_0 + 2(l+2) \cdot \tan \frac{\varphi}{4} \right] \left[B_0 + 2(l+2) \cdot \tan \frac{\varphi}{4} \right]} \quad (4.4.6-1)$$

2 对于墙下布桩条形承台梁基础：

$$p_0 = \frac{F' + G'_k - \gamma d_h B_0}{B_0 + 2(l+2) \cdot \tan \frac{\varphi}{4}} \quad (4.4.6-2)$$

式中： φ ——桩身穿过土层的等效有效内摩擦角 (°)；

F ——相应于作用的准永久组合时作用于承台顶的竖向力 (kN)；

F' ——相应于作用的准永久组合时作用于承台梁上单位长度的竖向力 (kN/m)；

G'_k ——单位长度梁及其上土的自重标准值 (kN/m)。

3 当式 (4.4.6-1) 和式 (4.4.6-2) 中 $2(l+2) \cdot \tan \frac{\varphi}{4}$ 小于 $2\Delta R$ 时，按 $2\Delta R$ 取值。

4.4.7 载体桩基沉降计算深度 (z_n) 应符合下式规定：

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (4.4.7)$$

式中： $\Delta s'_i$ ——在计算深度范围内，第 i 层上的计算变形值 (mm)；

$\Delta s'_n$ ——由计算深度位置向上取厚度为 Δz_n 的土层计算变形值 (mm)， Δz_n 可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。

4.5 构造

4.5.1 现场灌载体桩基桩身混凝土强度等级不应低于 C25，预制载体桩基桩身混凝土强度等级不应低于 C30。

4.5.2 载体桩主筋混凝土保护层厚度不应小于 35mm，且应满足耐久性要求。

4.5.3 载体桩基桩身配筋应符合下列规定：

1 桩身应通长配筋。

2 桩身配筋率宜取 0.2%~0.5%，小直径桩取大值，大直径桩取小值。对于承受荷载特别大的载体桩、抗拔载体桩，桩身配筋尚应满足设计要求。

3 抗拔桩的主筋应伸入载体内，进入载体长度不应小于 20 倍纵向主筋直径，且不应小于 50cm。

4.5.4 承台构造除应满足受冲切、受剪、受弯承载力和上部结构要求外，尚应符合下列规定：

1 柱下独立载体桩基承台边桩中心至承台边缘的距离不应小于桩的直径，且桩的边缘至承台边缘的距离不应小于 150mm。对于墙下条形承台梁，载体桩基的边缘至承台梁边缘的距离不应小于 75mm。承台的最小厚度不应小于 300mm。

2 高层建筑平板式和梁板式筏形承台的最小厚度不应小于 400mm，墙下布桩的剪力墙结构筏形承台的最小厚度不应小于 200mm。

3 高层建筑箱形承台的构造应符合现行行业标准《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6 的规定。

4.5.5 承台混凝土的强度等级不应低于 C25，并应满足混凝土耐久性要求。

4.5.6 承台的钢筋配置应符合下列规定：

1 当无混凝土垫层时，承台底面纵向钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 70mm；有混凝土垫层时，不应小于 50mm。

2 柱下桩基独立承台的钢筋应通长配置，对四桩以上（含

四桩)承台宜按双向均匀布置,柱下三桩的三角形承台应按三向板带均匀布置,且最里面的三根钢筋围成的三角形应在柱截面范围内。承台纵向受力钢筋的直径不应小于12mm,间距不宜大于200mm。柱下独立载体桩基承台的最小配筋率不应小于0.15%。

3 对于条形承台梁纵向主筋的最小配筋率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定。主筋直径不应小于12mm,架立筋直径不应小于10mm,箍筋直径不应小于6mm。

5 载体桩复合地基设计

5.1 一般规定

5.1.1 载体桩复合地基可适用于处理黏性土、粉土、砂土和自重固结完成的不含生活垃圾的填土地基。对于其他地基土应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。

5.1.2 载体桩复合地基增强体应选择中、低压缩性土为持力层。

5.2 复合地基设计

5.2.1 复合地基中增强体桩径宜为 400mm~600mm。当复合地基桩间距大于 2m 时，宜在距桩顶 1 倍桩径范围扩径。

5.2.2 载体桩复合地基的桩间距应根据设计要求的复合地基承载力、地层土性、桩径、施工工艺及布桩等因素综合确定，桩距宜为 4 倍~6 倍桩身直径，满堂布桩时宜取高值。

5.2.3 载体桩复合地基布桩宜按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中的有关规定执行。

5.2.4 载体桩复合地基桩顶应设置褥垫层，褥垫层应符合下列规定：

1 其材料宜为粗砂、级配砂石或碎石等，最大粒径不宜大于 30mm；

2 厚度应根据桩直径、桩顶构造、增强体承载力及桩间土承载力等因素综合确定，宜为 0.5 倍桩顶直径。

5.2.5 载体桩复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，初步设计时可按下式估算：

$$f_{\text{spk}} = \lambda_z m \frac{R_a}{A_p} + \alpha \lambda_s (1 - m) f_{\text{ak}} \quad (5.2.5)$$

式中： f_{spk} ——载体桩复合地基承载力特征值 (kPa)；

λ_z ——复合地基增强体竖向承载力发挥系数，按地区经验确定，无经验时可取 0.80~0.95；

R_a ——载体桩增强体的承载力特征值 (kN)，按本标准第 4.2 节确定；

λ_s ——桩间土承载力的发挥系数，按地区经验确定，无经验时可取 0.85~0.95；

α ——地基土承载力提高系数，按地区经验确定，无经验时可取 1.1~1.3，砂性、粉土取高值，黏性土取低值；

m ——载体桩复合地基面积置换率， m 的计算应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 执行；

f_{ak} ——天然地基承载力特征值 (kPa)。

5.2.6 载体桩复合地基增强体桩身强度验算应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 执行。

5.2.7 载体桩复合地基变形计算应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 执行。

6 施 工

6.0.1 载体桩施工前的准备，应符合下列规定：

1 应通过查阅建筑场地和邻近区域内原有构筑物 and 地下管线分布资料、现场踏勘等进行施工环境调查，对存在影响施工的建筑、管线、地下构筑物等应进行勘察，并应会同有关单位采取相应保护措施；

2 应依据审查合格的岩土工程勘察报告、桩基设计文件及现场施工条件等，结合工程经验，确定施工工艺和设备，并编制施工方案；

3 应进行施工图会审和设计交底；

4 应对主要施工机械及其配套设备进行性能和运行安全检查；

5 应对拟用的混凝土、钢筋、构件等原材料进行见证检验；

6 应进行工艺试验施工，并根据施工结果调整工程桩的施工工艺。

6.0.2 施工前应进行设备的调平，避免施工中桩机倾斜过大导致施工安全事故。

6.0.3 成桩过程中应结合地质情况、桩间距及桩长，合理安排施工顺序。施工顺序应本着减少影响邻桩质量的原则，并应符合下列规定：

1 应有利于保护已施工桩不受损坏；

2 应采取退打的方式自中间向两端或自一侧向另一侧进行；当一侧毗邻建筑物时，应由毗邻建筑物一侧向另一侧施工；

3 持力层埋深不一致时，应按先浅后深的顺序进行施工。

6.0.4 载体桩施工可分为成孔、载体施工和桩身施工三部分（图 6.0.4）。成孔可采用锤击跟管、振动锤、液压锤、柴油锤、

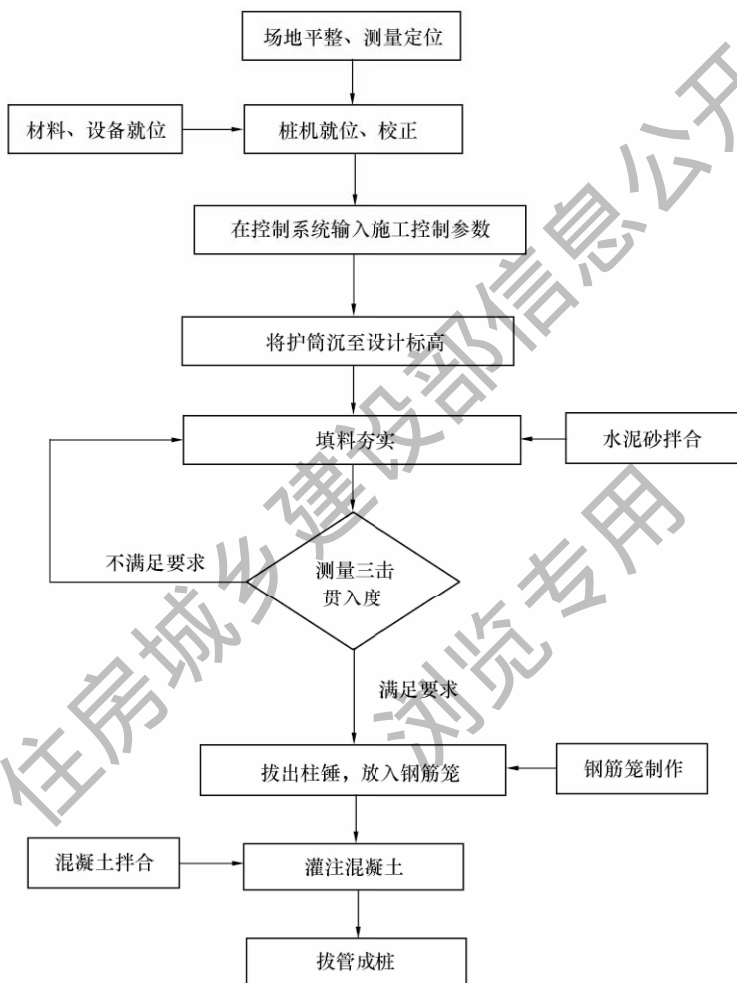


图 6.0.4 载体桩施工工艺

潜孔锤等沉管方式，也可采用旋挖、长螺旋等辅助引孔方式成孔。

6.0.5 载体施工宜采用计算机自动控制系统，通过输入施工参数自动控制每次夯击时锤的提升高度，自动记录每次夯击的贯入

度和最终三击贯入度。

6.0.6 当在饱和黏土中施工时，应满足下列要求：

1 柱锤锤底出护筒的距离不应超过 5cm；

2 施工中测完三击贯入度后，应检查桩端土体是否回弹。

当土体回弹量超过 5cm 时，应分析原因，处理后重新测量。

6.0.7 在地下水位以下施工时，应采取有效的封堵措施。

6.0.8 抗拔载体桩施工时，经测量三击贯入度满足要求后，应再次沉护筒至载体内，深度应满足抗拔构造要求且不得小于 50cm，随后方可放置钢筋笼，浇筑混凝土成桩。

住房城乡建设部
浏览专用

7 验 收

7.0.1 载体桩基应进行桩位、桩长、桩径、桩身质量和单桩承载力的检验。

7.0.2 桩位、桩长、桩径等的偏差应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的规定。

7.0.3 施工前应对混凝土、钢材、预制构件等进行检查，并进行相关的抽样检测。

7.0.4 施工中应对成孔、钢筋笼、混凝土进行检查，混凝土应留试块并进行相关试验，试块留置数量应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004 的规定。

7.0.5 施工过程中应对水泥砂拌合物的总体积、三击贯入度进行检查。

7.0.6 载体桩施工完毕后应进行单桩承载力和桩身质量的抽样检测。

7.0.7 载体桩基桩的单桩承载力检测应符合下列规定：

1 单桩承载力检测应采用静载荷试验，检测方法可按本标准附录 A 执行；

2 单位工程检验桩数量不应少于同条件下总桩数的 1%，且不应少于 3 根，当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

7.0.8 桩身质量检测可采用低应变法检测，并按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。低应变法检测数量应符合下列规定：

1 柱下为三桩或三桩以下承台，每个承台下基桩抽检数量不得少于 1 根；

2 设计等级为甲级或地质条件复杂的载体桩项目，抽检数

量不应少于总桩数的 30%，且不应少于 20 根；

3 其他工程抽检数量不应少于总桩数的 20%，且不应少于 10 根。

7.0.9 载体桩复合地基的检测应符合下列规定：

1 复合地基承载力检测宜采用复合地基静载荷试验、增强体竖向抗压静载荷试验；有经验时，可采用增强体竖向抗压静载荷试验、桩间土的载荷板试验。

2 载体桩复合地基和增强体竖向抗压静载荷试验的检测方法和检测数量应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 执行，桩间土的载荷板试验应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。

3 增强体应进行桩身完整性的检测，检测方法应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定。

7.0.10 在桩身混凝土强度达到设计要求的前提下，从成桩到开始检测的休止时间，对于砂类土不应少于 7d，粉土不应少于 10d，非饱和黏性土不应少于 15d，饱和黏性土、淤泥或淤泥质土不应少于 25d。

7.0.11 给设计提供参数的单桩静载荷试验可采用快硬水泥施工载体，用钢管或预制构件代替桩身进行试验。

附录 A 载体桩单桩竖向抗压静载荷试验

A.0.1 载体桩竖向静载荷试验的加载方式宜采用慢速维持荷载法，有经验的地区工程桩验收时也可采用快速维持荷载法。

A.0.2 加载反力装置可采用堆载法、锚桩法，或采用堆载和锚桩相结合的方法。

A.0.3 试桩、锚桩（压重平台支座）和基准桩之间的中心距离应符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离

反力系统	试桩与锚桩（或压重平台支座墩边）	试桩与基准桩	基准桩与锚桩（或压重平台支座墩边）
锚桩横梁反力装置、 压重平台反力装置	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0\text{m}$

注：1 表中 d 为试桩或锚桩的直径，取其较大者；

2 括号内的数值用于工程验收检测多排桩且设计桩中心距离小于 $4d$ ，或压重平台支墩下 2 倍~3 倍宽度影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。

A.0.4 加荷分级不应少于 8 级，每级加荷量宜为预估极限荷载的 $1/10\sim 1/8$ 。

A.0.5 慢速维持荷载法测读桩沉降量的间隔时间：每级加载后，第 5min、10min、15min 时应各测读一次，以后每隔 15min 读一次，累计 1h 后可每隔 0.5h 读一次。

A.0.6 桩的沉降量稳定标准：每级荷载作用下，每小时内的桩顶沉降量不得超过 0.1mm，并连续出现 2 次。

A.0.7 出现下列情况之一时可终止加载：

1 某级荷载作用下，桩的沉降量为前一级荷载作用下沉降量的 5 倍且总沉降大于 60mm；

2 某级荷载作用下，桩的沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定；

3 达到设计要求的最大加载量；

4 当采用锚桩法时，锚桩的上拔量已达到允许值；

5 曲线呈缓变型，桩顶沉降累计达到 60mm。

A.0.8 卸载观测时应符合下列规定：

1 每级卸载值应为加载值的两倍；

2 卸载后应隔 15min 测读一次，读两次后，隔 0.5h 再读一次，即可卸下一级荷载；

3 全部卸载 3h~4h 后，应再测读一次。

A.0.9 单根载体桩竖向极限承载力的确定应符合下列规定：

1 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型 $Q-s$ 曲线，应取其发生明显陡降的起点对应的荷载值；

2 根据沉降随时间变化的特征确定：应取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

3 当出现本标准附录 A 第 A.0.7 条第 2 款的情况时，宜取前一级荷载值；

4 当 $Q-s$ 曲线呈缓变型时，应取桩顶总沉降量为 60mm 所对应的荷载值；

5 当不满足本条 1~4 款情况时，竖向极限承载力应取最大加载值。

A.0.10 单桩竖向受压极限承载力的统计取值，应符合下列规定：

1 参加统计的试桩，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，可取其平均值作为极限承载力；

2 极差超过平均值的 30% 时，应分析极差过大的原因，可增加试桩数量，结合工程具体情况确定极限承载力；

3 试验桩数小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，应取最小值作为极限承载力。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 4 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 5 《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6
- 6 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 7 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 8 《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106