

UDC

中华人民共和国行业标准



P

JGJ/T 135 - 2018

备案号 J 121 - 2018

载体桩技术标准

Technical standard for piles with ram-compacted
bearing sphere

2018 - 03 - 19 发布

2018 - 11 - 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

载体桩技术标准

Technical standard for piles with ram-compacted
bearing sphere

JGJ/T 135 – 2018

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 8 年 1 1 月 1 日

2018 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2018 第 4 号

住房城乡建设部关于发布行业标准 《载体桩技术标准》的公告

现批准《载体桩技术标准》为行业标准，编号为 JGJ/T 135-2018，自 2018 年 11 月 1 日起实施。原《载体桩设计规程》JGJ 135-2007 同时废止。

本标准在住房城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房城乡建设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

2018 年 3 月 19 日

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
福建省泷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		
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			

本标准主要审查人员：

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
附：条文说明		33

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
	Addition; Explanation of Provisions	33

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} ——载体桩单桩竖向受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 ——载体桩单桩竖向受压承载力特征值；
 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_e ——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_l ——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_r ——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：

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

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列公式计算:

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

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, 可采用下列公式估算:

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

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_e ——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_e 值应乘以 0.85~0.95，当桩径为 500mm~800mm 时，表中 A_e 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_e 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_e (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：

$$N \leq \psi_c f_c A_p + 0.9 f'_y A_s \quad (4.2.4-1)$$

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：

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

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)；

ψ_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应力 (kPa)；

γ ——承台底以上土的加权平均重度 (kN/m³)，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 (m²)；

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/m³)；

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 ($^\circ$), 可按表 4.2.5 取值。

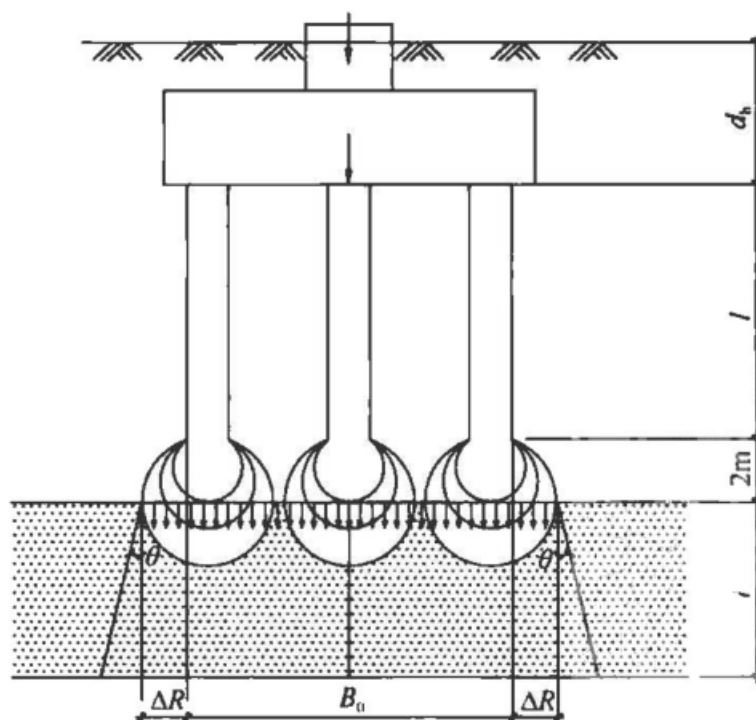


图 4.2.5 软弱下卧层计算示意

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}	t/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 t/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)，并应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；

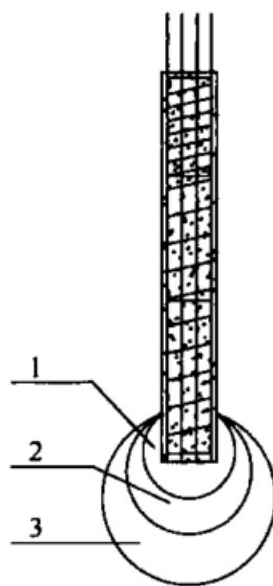


图 4.3.1 抗拔载体桩构造

- 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。

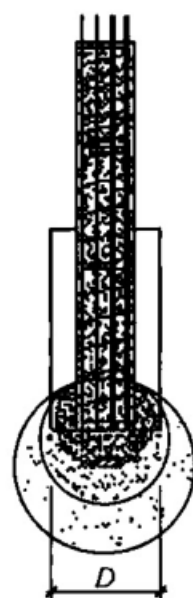


图 4.3.2 抗拔载体桩计算简图

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:

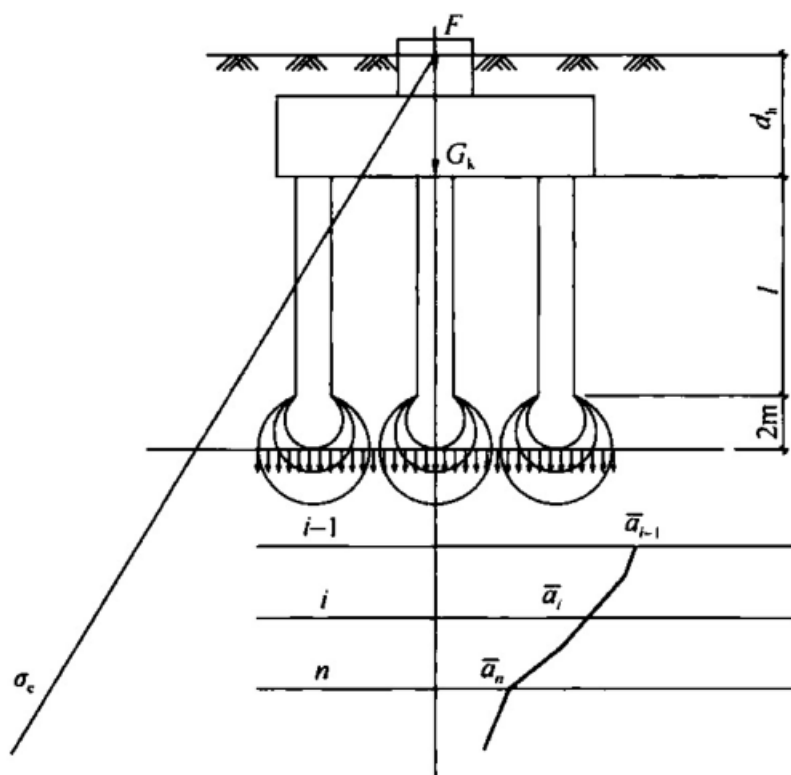


图 4.4.4 沉降计算示意

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 层土的计算变形值 (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、

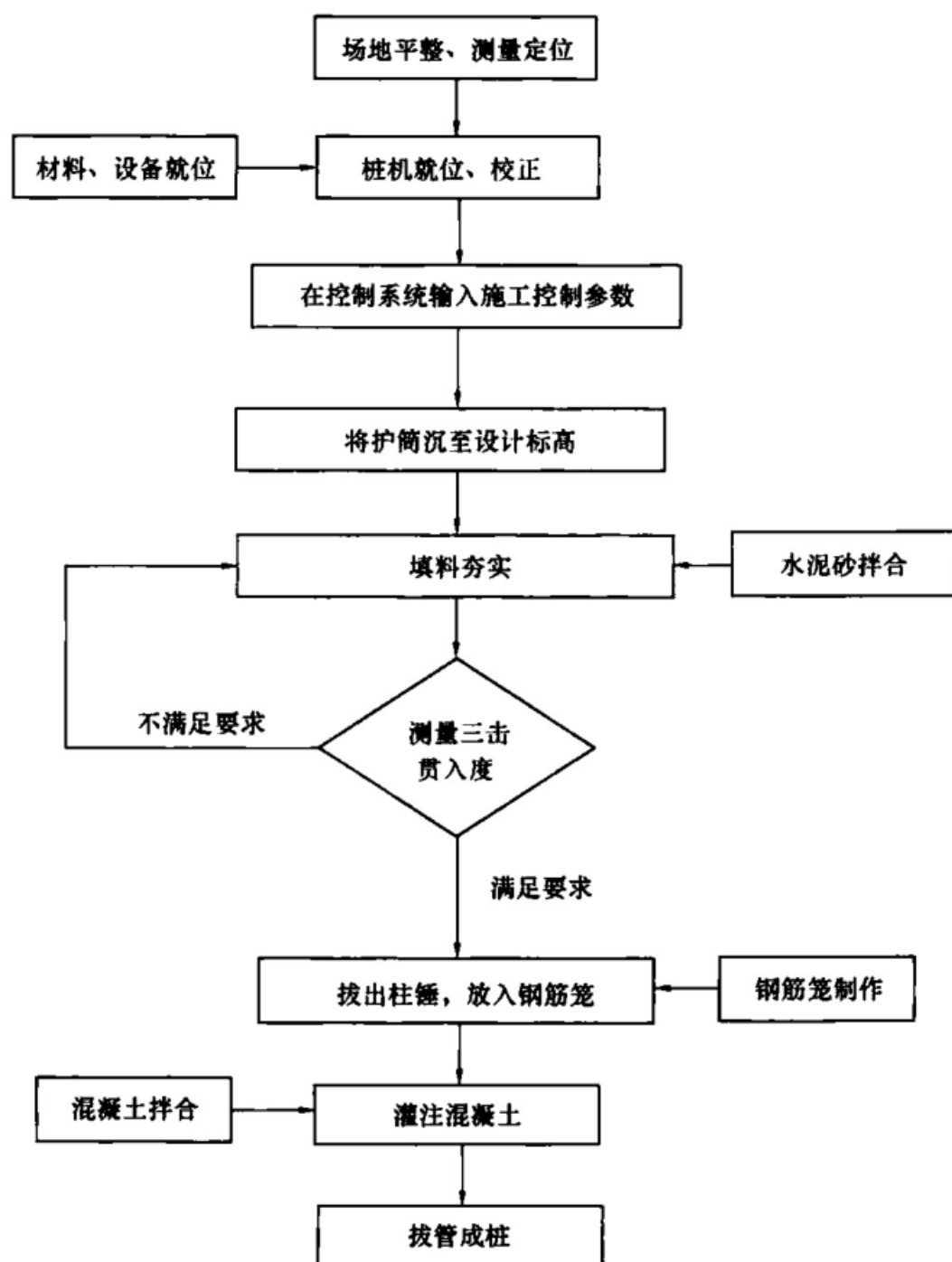


图 6.0.4 载体桩施工工艺

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。

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，并应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 $s-\lg t$ 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 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106

中华人民共和国行业标准

载体桩技术标准

JGJ/T 135 - 2018

条文说明

编制说明

《载体桩技术标准》JGJ/T 135 - 2018, 经住房和城乡建设部 2018 年 3 月 19 日以 2018 第 4 号公告批准、发布。

本标准是在《载体桩设计规程》JGJ 135 - 2007 的基础上修订而成, 本标准的上一版主编单位是北京波森特岩土工程有限公司, 参编单位为中国建筑科学研究院、清华大学、天津大学建筑设计研究院、天津中怡建筑设计有限公司、北京建筑工程研究院、哈尔滨波森特建筑安装工程有限公司、陕西波森特岩土工程有限公司, 主要起草人员包括: 王继忠、杨启安、李广信、闫明礼、凌光容、方继圣、沈保汉、杨立杰、麻水歧、孙玉文、戚银生、葛宝亮、季强、杨浩军、蔺忠彦、马治国。

本次修订过程中, 编制组进行了广泛而深入的调查研究, 总结了我国工程建设中载体桩工程经验, 同时结合国内其他标准, 并参考了国外技术法规、标准, 通过收集的资料及试验数据取得了修订本标准所必要的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定, 《载体桩技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明, 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	36
2	术语和符号	38
2.1	术语	38
3	基本规定	40
4	载体桩设计	42
4.1	一般规定	42
4.2	竖向受压承载力计算	43
4.3	受拔承载力计算	50
4.4	沉降计算	51
5	载体桩复合地基设计	52
5.1	一般规定	52
5.2	复合地基设计	52
6	施工	54
7	验收	56

1 总 则

1.0.1 载体桩应用时首先应从建筑安全考虑，确定方案是否可行，然后再根据建筑物的安全等级、建筑场地情况、结构形式和荷载，确定桩长、桩径等设计参数，并考虑施工工艺对环境的影响。

1.0.2 本标准适用于工业与民用建筑、铁路、市政、水利、航空等领域建设工程中载体桩的设计、施工和验收。

1.0.3 载体桩施工一般采用全护筒护壁成孔，然后在护筒内填料夯实，形成载体，根据成孔的方式不同，其施工工艺也不同。随着近年来施工工艺的不断发展，载体桩的尺寸和成孔方法已经有了较大的发展，载体桩已从最初桩径 400mm~450mm，桩长小于 12m，发展为桩径 350mm~800mm，最大桩长可达 40m。施工技术从最初的柱锤冲击成孔、振动沉管成孔，发展到旋挖、长螺旋、液压锤、潜孔锤等成孔工艺相结合的施工工艺，而每一种施工工艺适用于不同的土层，所谓考虑工程地质和水文地质条件，是指设计时针对不同的地质条件选择不同的施工工艺。例如为防止施工中地基土扰动影响施工质量，在某些地基土中可采用振动沉管的工艺施工，而在卵石、基岩等较硬土层中柱锤冲击成孔无法施工时，可采用旋挖和载体施工相结合的工艺施工；在砂土或卵石土层中施工较为困难时，可采用先施工水泥土桩，再施工载体桩的组合施工工艺。设计时根据被加固土层和持力层的土性及单桩承载力要求选择合适的填料体积和三击贯入度，当有多种方案可选择时，必须结合上部结构类型、地质条件及荷载分布综合考虑，确定最优方案。

载体桩施工具有一定的振动效应，当拟建场地周围存在既有建筑，且施工对既有建筑有影响时，为减小施工对既有建筑

物的影响，可采用无振感的施工方法进行施工，如静压法施工，或者施工中采取减振、隔振措施，有效减小施工振动对周围的影响。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 载体桩包括两部分：混凝土桩身和载体。载体桩承载力高的基本原因在于桩端土体密实，通过夯实填料挤密桩端土体形成载体。载体桩从受力原理分析，混凝土桩身相当于传力杆，载体相当于扩展基础，上部荷载通过桩身传递到载体，再通过载体内水泥砂拌合物、挤密土体、影响土体逐级扩散，最终传递到载体下持力层。

载体桩施工步骤主要分为成孔、载体施工、桩身施工。载体桩成孔的施工方法有多种，如柱锤冲击、振动沉管、旋挖或液压锤、潜孔锤等成孔工艺，成孔到设计标高后，分批向孔内投入水泥砂拌合物，水泥砂拌合物中的水泥含量先少后多，用柱锤反复夯实，达到设计要求的三击贯入度后，再填入水泥拌合物夯实到护筒底齐平，载体施工完毕，最后再施工混凝土桩身。桩身可现浇施工，也可预制。在含水量较高的软弱土层中施工时，由于施工挤土效应，为减小施工对邻桩的影响，优先采用预制桩身。

2.1.2 根据被加固土土性，载体施工可填料，也可不填料，因此载体分为填料载体和无填料载体。无填料载体是指在中风化岩层等土层中施工载体时，由于被加固土层密实度或强度较高，无需外加填料直接夯实施工，达到设计要求三击贯入度所形成的载体，夯实的主要目的是挤密桩端沉渣或虚土。

本次标准修订将载体施工填料由原来的碎砖、碎混凝土、水泥拌合物、碎石、卵石及矿渣等修订为水泥砂拌合物，一方面可提高载体核心区域的抗压强度，有效提高单桩承载力，另一方面水泥砂拌合物可通过护筒与柱锤的孔隙填入护筒内，提高载体的施工功效。填料载体由夯实的水泥砂拌合物和挤密土体、影响土

体三部分组成（图 1）。根据现场开挖及对桩端土体取样分析，载体的影响区域约为桩端以下深度 3m~5m，横向径长 2m~3m。施工完毕时，桩端下这个范围的土体都得到了有效挤密。

2.1.5 载体桩桩长包括两部分：混凝土桩身长度和载体高度，其中混凝土桩身长度即从桩顶到载体顶的高度（即承台底标高到施工时护筒底标高的长度），载体因桩端土体土性和三击贯

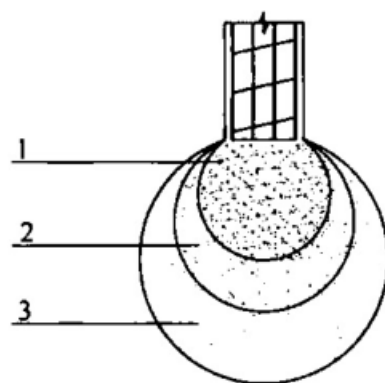


图 1 填料载体构造

1—水泥砂拌合物；2—挤密土体；3—影响土体

入度的不同，填料和影响范围也不同，一般深度约为 3m~5m，但在进行承载力和变形计算时，从安全角度考虑，本标准规定载体高度的计算值取 2m。当在中风化岩中施工无填料载体时，由于没有填料，所以载体高度为 0。

2.1.8 标准三击贯入度是以直径为 355mm、质量为 3500kg 的柱锤，落距为 6.0m，自由落体连续三次锤击的贯入度。三击贯入度测量时应注意两点：首先，第二次锤击测得的贯入度不大于前一次锤击的贯入度，若发现不符合此规律，说明土体密实度不够，应查明原因，重新夯实后进行测量；其次，当采用非标准锤施工时，可通过调整锤的提升高度，确保锤端单位面积上的冲击能量与标准三击贯入度测量时的冲击能量相同。

2.1.10 由于载体桩单桩承载力高，因此在以承载力设计控制为主的复合地基工程中可将载体桩施工成复合地基的竖向增强体，增强体可采用素混凝土载体桩，也可以配钢筋，既发挥增强体单桩承载力，同时合理利用桩间土承载力。

3 基本规定

3.0.2 随着近几年载体桩技术的发展,载体桩技术的应用已经取得了长足的进展,目前已积累了大量在残积土、强风化和全风化等岩土中施工载体桩的资料和经验,故本次标准修订中,被加固土层增加了这三类土。对于软塑~可塑状态的黏土、素填土、杂填土和湿陷性黄土,只要经过成桩和载荷试验确定承载力满足设计要求,也可作为被加固土层。

在湿陷性黄土中施工载体桩时,经过填料夯击,破坏了原状土结构,土颗粒重新排列,载体周围的地基土土性发生较大变化,如密实度提高,孔隙比降低等,使得在载体周围一定范围内黄土湿陷性被消除。利用载体桩在黄土中的施工特性,当承载力和变形满足设计要求的情况下,可有效减小混凝土桩身的长度。为研究载体桩施工后黄土湿陷性消除的情况,编制组做了相关试验和研究,表1为某工程载体桩施工前后载体周围地基土物理力学参数指标的变化。试验桩混凝土桩身长度为9.0m,桩间距1.8m,三击贯入度为12cm,土样从9.0m深度处开始取样,沿深度方向每米取一组,取样的水平位置位于两试桩中心连线的中点。

表1 某工程载体桩施工前后载体周围土的物理力学参数指标变化

土样 编号	取土深度 (m)	天然密度 (g/cm ³)		孔隙比		压缩模量 (MPa)		湿陷系数	
		原状土	施工后	原状土	施工后	原状土	施工后	原状土	施工后
1	9.0	1.39	1.58	0.940	0.709	5.7	14.2	0.034	0.002
2	10.0	1.46	1.50	0.906	0.807	7.6	15.3	0.019	0.005
3	11.0	1.42	1.45	0.891	0.793	8.8	16.4	0.024	0.012
4	12.0	1.41	1.41	0.915	0.875	7.6	9.3	0.029	0.014
5	13.0	1.38	1.42	0.957	0.901	5.4	6.7	0.023	0.015

由试验数据分析发现：在混凝土桩身以下 4m 范围内，湿陷系数明显降低，湿陷性被消除。载体桩设计时可将其护筒底标高设计在湿陷性黄土底面上 2m~4m 范围内，三击贯入度小时取大值，三击贯入度大时取小值，施工载体桩后，可保证混凝土桩身加载体穿透湿陷性黄土。

3.0.6 本标准上一版中规定载体桩设计时应进行单桩承载力的验算，对于承台或筏板下多桩基础，桩间距小时 A_c 可能相互叠加，影响群桩中单桩承载力的发挥，故本次修订增加了载体桩群桩应按实体基础计算桩端地基土承载力。

3.0.8 在腐蚀性地区应用载体桩时，须考虑其耐久性。载体桩桩身与普通混凝土桩一样，因此其防腐措施也相同。桩端载体部分，在选材上与桩身一样，当载体施工填料达到 0.6m^3 时，折算成球体后直径一般达到约 1m，载体内钢筋保护层的厚度将远大于桩身部分，因此载体的防腐蚀能力也将大于桩身。

3.0.10 载体桩施工中成孔或填料夯实可能影响到相邻桩的施工质量，如桩身缩颈、产生裂缝，或由于桩间土的上移带动桩身上移，引起桩身与载体的脱离，可通过控制相邻桩的上浮量来保证桩身的质量。根据实践经验，对于桩身混凝土已达到终凝，相邻桩的上浮量不超过 20mm，对于桩身混凝土处于流动状态的相邻桩，上浮量不超过 50mm，则对邻桩影响较小，因此本次标准修订规定：施工过程中严格控制相邻桩的上浮量，对于混凝土终凝后的相邻桩，其上浮量不应超过 20mm；对于桩身混凝土处于流动状态的相邻桩，上浮量不应大于 50mm。

4 载体桩设计

4.1 一般规定

4.1.3 设计中应根据地质条件、施工影响范围和设计荷载，确定合适的桩间距。合适的桩间距是指既能满足设计要求，又不至于影响到相邻载体桩承载力，且造价最经济的桩间距。桩间距过小，施工载体时产生的侧向挤土压力可能导致邻桩偏移。当桩长短且土体的抗剪强度低时，可能导致土体滑移破坏，使地面隆起、邻桩桩身上移。为研究载体施工的影响范围，标准编制组进行了相关试验。

某住宅小区采用桩径 410mm，桩长为 5.0m 的载体桩，载体的被加固土层为黏土。施工完毕后开挖取土和土工试验，结果表明：在夯实填充料外沿水平方向 0~300cm 间土体孔隙比有一定的变化（表 2），沿水平方向 90cm 范围内，孔隙比变化明显，但超过 90cm 后孔隙比变化很小。实测夯实填充料固化后水平直径为 105cm，施工影响约 1.45m，相当于 4 倍桩径。

表 2 土体孔隙比沿与填充料表面水平距离的变化

取样点编号	1	2	3	4	5
距填充料外表面水平距离（cm）	0	30	60	90	300
孔隙比	0.613	0.647	0.704	0.730	0.730

载体桩为挤土效应的桩，因此桩间距不宜小于 3 倍桩身直径。通过载体桩模型箱试验结果表明，当被加固土层为砂土时，其影响范围小于黏性土，这是因为砂土内摩擦角较大、抗剪强度高，影响范围小于黏土，因此砂土中桩间距可略小于黏土中桩间距。根据工程实践经验和室内试验，当被加固土层为粉土、砂土或碎石土时，桩径为 300mm~500mm 的载体桩，最小桩距不宜

小于 1.6m；当被加固土层为黏性土时，桩间距应适当增加，尤其当被加固土层为含水量超过 20% 的黏性土时，桩间距不宜小于 4 倍桩径，且不宜小于 2.0m。当桩径大于 500mm 时，由于填料会相对较多，故施工影响区域大，其最小桩间距应相应适当增加。

不同地区的同一类土，其成因不同，由于其颗粒的矿物成分、含水量、塑性指数、渗透系数、应力历史、灵敏度以及边界条件等不同，抗剪强度指标不同，挤密施工影响范围也不同，故施工最小间距也不一样，如在北京的黏性土中施工载体桩，桩间距小于 1.8m 时，容易造成邻桩的影响，但在江苏和河南等地区的黏性土中施工载体桩，其最小间距可达 1.6m，依然能确保载体桩施工质量，因此设计时应综合地区经验确定桩间距，没有地区经验时应进行试桩确定合适的桩间距。

载体桩施工成孔工艺采用全护壁护筒施工，柱锤冲击成孔、振动成孔都属于挤土工艺，对周围地基土有一定的影响。为减小邻桩的影响可采用旋挖成孔、洛阳铲成孔等和载体施工相结合的施工工艺，这些工艺挤土效应小，设计桩间距可适当减小。

4.2 竖向受压承载力计算

4.2.2 确定载体桩承载力最可靠的方法是载荷试验，本次标准修订规定设计等级为甲级和地质条件复杂的乙级的载体桩基础，在设计之前为设计提供依据时，应通过载荷试验确定单桩承载力特征值。其他情况的载体桩基础，其单桩承载力特征值可以采用相近的工程资料选用或通过公式进行估算。

4.2.3 所有承载力估算都是根据现有地质条件和经验参数对单桩承载力的预估，当试验的单桩承载力与预估计算承载力有差异时，应以试验为准，对原设计计算中选取的参数进行调整。

通过试验发现，载体桩受力变形曲线呈缓变型，接近浅基础的载荷试验曲线。载体桩承载力主要源于载体（图 2 为某一项目载体和载体桩载荷试验的曲线对比）。通过曲线分析发现：载体

几乎提供了 90% 的单桩承载力，类似扩展基础，因此本标准提出按实体基础承载力计算方法来计算载体桩单桩承载力，单桩承载力特征值 $R_a = f_a \cdot A_c$ 。当载体桩持力层为中风化岩时，其承载力往往比标高在其上的强风化、全风化岩为持力层的载体桩单桩承载力高，但由于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中规定 f_a 计算时对中风化岩不进行深度修正，按上一版规程计算的载体桩单桩承载力往往小于以标高在其上强风化、全风化岩为持力层的载体桩单桩承载力，这与实际不符。本标准规定该类桩单桩承载力计算中 A_c 取桩身截面， f_a 根据载荷试验或由公式 $f_a = \psi_r f_{rk}$ 确定。

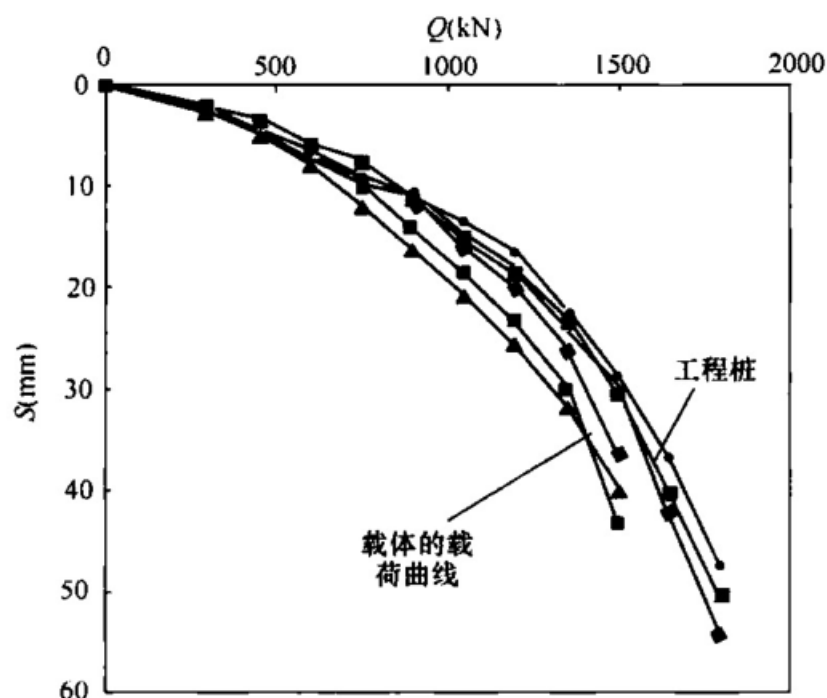


图 2 载体和载体桩曲线对比

随着近年来施工工艺的不断完善，载体桩技术有了长足的发展。载体施工技术和振动沉管、旋挖、液压锤、潜孔锤等工艺相结合后，载体桩施工成孔的能力有了较大提高，载体桩的应用范围有了较大拓宽，载体桩被加固土层从一般黏性土、粉土、砂土、碎石土拓宽到残积土、强风化岩、全风化岩等土（岩）层，载体桩直径和桩长也有了较大变化，载体桩直径从最初

400mm~450mm 发展到最大达 800mm, 桩长也发展到最长达 40m。本次标准修订被加固土层增加了残积土、全风化、强风化, 拓宽了载体桩的应用范围, 标准中等效计算面积选取的表格中也增加了这些土, 为设计提供了依据。载体桩设计时 A_e 一般根据经验确定, 为了方便设计, 根据收集的工程资料进行分析, 本次修订给出基于桩径为 450mm~500mm 的 A_e 经验取值, 当有现场载荷试验时, 设计计算的 A_e 可根据载荷试验反算进行取值。表 3 为部分载体桩的统计。

表 3 部分载体桩的统计

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层		被加固 土层	三击贯 入度 (cm)	单桩承 载力特 征值 (kN)
				土性	承载力 特征值 (kPa)			
1	兰州保利领袖山	600	6.5	强风 化岩	450	强风 化岩	<10	6500
2	济南万科金域	600	13.0	强风化 闪长岩	350	强风化 泥岩	12	4400
3	济南万科金域试桩	600	10.0	中风化 闪长岩	2500	强风化 泥岩	8	5850
4	烟台万科御 龙山项目	550	5.0	强风化 花岗岩	560	含碎石 黏土	<10	4520
5	营口万科鲅鱼圈	500	18.0	全风化 花岗岩	300	中砂	<10	2800
6	天津保利香颂湖	500	20.0	粉土	180	粉土	<10	2000
7	天津 105 厂整体 搬迁项目	400PHC	19.2	粉土	180	黏土	<10	1560
8	神华宁煤 400 万吨 煤制油	600	9.5	卵石	400	杂填土	<10	4100
9	北京晋元庄商场	600	2.5	卵石	350	卵石	<10	4000

续表 3

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层		被加固 土层	三击贯 入度 (cm)	单桩承 载力特 征值 (kN)
				土性	承载力 特征值 (kPa)			
10	天津玖龙纸业	400PHC	18.5	粉土	170	黏土	<15	1600
11	大连万科海港城	450	20.0	粉质 黏土	150	粉质 黏土	<15	1100
12	大连万科蓝山	450	8.0	全风 化岩	160	全风 化岩	<10	2500
13	西宁广汇九锦园 住宅小区	600	38.0	卵石	450	黏性土	<10	4880
14	万科幸福里	500	15.0	粉质 黏土	240	粉质 黏土	8	3600
15	松原某化工 项目试桩	600	11.0	中砂 加砾石	350	中砂	9	3600
16	北京行政副 中心试桩	600	15.3	细砂	240	细砂	8	5500
17	沧州核燃料	500× 500	14.5	粉土	200	粉土	<10	1500
18	包头北大科技园	550	13.0	粉砂	250	粉砂	10	2100
19	黄冈医院	600	18.0	粉砂岩	350	黏土	10	4100
20	青岛万科金域 华府二期	550	6.0	强风 化岩	400	杂填土	10	3300
21	天狮国际大学城	430	10.0	粉砂	180	黏土	<10	2000
22	天狮试桩	450	8.5	黏土	150	黏土	<20	1200
23	京沈客运专线	500	14.0	黏土	160	黏土	15	1800
24	济南绿地国际城	550	12.5	泥灰岩	600	黏土	10	4500
25	唐山金隅山墅	600	7.0	中风 化岩	400	残积土	10	2900

续表 3

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层		被加固 土层	三击贯 入度 (cm)	单桩承 载力特 征值 (kN)
				土性	承载力 特征值 (kPa)			
26	北京金隅府	600	13.2	卵石	300	卵石	10	5100
27	北川高级中学	420	7.0	砾砂	180	砾砂	10	1500
28	包头米兰春天	500	8.0	砾砂	300	粉砂	10	4500
29	北京石景山 TSM 项目	500	6.0	卵石	350	卵石 填土	10	2250
30	吉林德惠秸秆 综合利用项目	500	11.2	砾砂	200	砾砂	10	2100
31	吉林德惠秸秆 综合利用项目	450	8.3	中细砂	150	中细砂	15	1850
32	佳木斯泉林纸业	500	18.0	中砂	250	中砂	<10	3250
33	高唐纸业 150 万吨 秸秆综合利用项目	450	8.0	粉质 黏土	130	粉质 黏土	<12	850
34	天津滨海南港 石油储备油库	400PHC	20.0	粉细砂	160	粉细砂	10	1500
35	唐山鑫达钢厂	600	10.2	粉细砂	250	粉细砂	10	3100
36	山东晨鸣纸业	420	10.0	粉砂	200	粉砂	10	1600
37	北京动车段	450	15.0	卵石	350	杂填土	10	1000
38	太原万科北营 N1 地块试桩	500	17.5	砂粉质 黏土	230	黏土	10	2400
39	北京万科熙园	600	9.0	卵石	350	卵石	10	3600
40	黄山屯溪公租房	600	6.5	原砾	140	粉细砂	13	2250
41	兰州保利金香槟	600	10.0	卵石	500	卵石	10	5200
42	河南新乡纸业厂	400	6.7	粉砂	180	粉砂	12	1500
43	缅甸达貢山 镍矿项目	420	4.2	粉砂	180	黏土	10	900

续表 3

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层		被加固 土层	三击贯 入度 (cm)	单桩承 载力特 征值 (kN)
				土性	承载力 特征值 (kPa)			
44	北京星牌建材 城项目	430	8.0	细砂	210	黏土	10	1500
45	邳州市公安局 新建看守所	500	10.05	黏土	200	黏土	10	2400
46	鑫德南郡 1-6# 楼	400	7.2	卵石	240	粉质 黏土	10	1200
47	丽江花园	400	5.5	卵石	240	粉质 黏土	10	1200
48	盛世新都	400	6.4	圆砾	220	粉质 黏土	10	1000
49	江北公安分局 办公楼	400	7.5	砾砂	360	粉质 黏土	10	1300
50	哈尔滨市学府学校	400	6.5	粉质 黏土	150	粉质 黏土	<10	1400
51	爱达九溪地库	400	6.5~ 12.0	粉质 黏土	150	粉质 黏土	<10	1450
52	绥化市青冈悦城	400	7.5	黏土	140	黏土	<10	1650
53	绥化市肇东 盛世鑫城	400	6.0	黏土	140	黏土	<10	1600
54	梅河口市芳华茗苑	400	6.0	粗砂	240	粗砂	7	1750
55	梅河口市众诚万家	500	7.0	粒砂	280	粒砂	6	1760
56	吉林省松江河市 松江小区	400	6.4	粉砂	200	粉砂	9	1240
57	内蒙古卧佛山 滑雪场酒店	700	6.0	角砾	380	砂砾	8	2800
58	内蒙古某法院	500	6.0	粗砂	180	粗砂	10	800

续表 3

编号	工程名称	桩径 (mm)	桩长 (m)	持力层		被加固 土层	三击贯 入度 (cm)	单桩承 载力特 征值 (kN)
				土性	承载力 特征值 (kPa)			
59	内蒙古江南华府	420	4.5	细砂	160	细砂	10	600
60	禄丰龙达花园 一二期	450	6.0	黏土	220	黏土	8	1600
61	大姚城东一号	450	3.0~ 10.0	黏土	230	黏土	8	1610
62	大姚天和颐园	450	3.0	强风化	280	强风化	10	1690
63	大姚民政局老年 护理院	450	6.0~ 8.0	黏土	240	黏土	9	1630
64	姚安南城名都 一二期	450	6.5~ 10.0	圆砾	290	圆砾	8	1700
65	南华瑞特国际 一二三期	450~ 500	8.0~ 12.0	圆砾	320	圆砾	9	1760
66	禄丰县中医院	450	6.0~ 10.0	粉质 黏土	220	粉质 黏土	10	1490
67	大姚县石羊古镇 旅游接待中心	400	7.0~ 10.0	强风化	280	强风化	9	1690
68	双辽市雍景小区	400	6.0~ 7.5	粉砂	200	粉砂	15	1220
69	双辽市翰林 名苑小区	400	8.0~ 9.0	粉砂	200	粉砂	10	1360
70	双辽市客运站	400	5.0	粉砂	200	粉砂	20	1100
71	盐城市大丰区 公路站办公楼	400	6.5	粉砂	180	粉砂	<10	1600
72	盐城银泰华城 住宅楼	400	5.5	粉砂	160	粉土	<10	1200

注：由于实际工程中载荷试验很多未达到破坏，故表中某些单桩承载力特征值为按单桩载荷试验曲线推算值。

4.2.4 为确保满足桩身混凝土强度要求，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 对桩身正截面受压承载力进行验算。由于载体桩在护筒内施工，桩身混凝土质量易保证，结合经验规定对桩身采用现场浇注混凝土的载体桩，其成桩工艺系数取 0.75~0.90；当桩身采用预制桩时，成桩工艺系数取 0.85。对某些桩身外施工水泥土或固化土的复合型载体桩，由于桩外围固化土或水泥土对芯桩的施工保护和环箍作用，提高了桩身混凝土的抗压强度，其成桩工艺系数可适当提高，最大不超过 0.98。

4.2.5 持力层下某土层压缩模量与持力层压缩模量之比小于 1/3 时，该土层即为软弱下卧层。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中规定，当桩中心距小于 6 倍桩径时，对群桩应进行整体的软弱下卧层验算。载体桩的间距不超过 3.0m，一般为整体受力，因此载体桩的持力层下存在软弱下卧层时，应按实体基础进行软弱下卧层承载力验算。等代实体基础的附加应力扩散平面为载体的等效计算面，即混凝土桩身下 2m，等代实体基础边长为群桩中外围桩形成的投影面边长加 2 倍扩散等效计算宽度。

4.2.6 载体桩群桩也存在相互影响，当载体桩群桩的 A_c 大于单桩 A_c 之和时，表明 A_c 相等叠加，会影响单桩承载力发挥。因此本标准规定对独立柱基和满堂布桩的载体桩基础进行群桩整体承载力验算。

4.3 受拔承载力计算

4.3.2 载体桩桩端存在载体，抗拔时载体的锚固作用较为明显，其受力类似扩底桩，因此载体桩常常被设计为抗拔桩，抗拔载体桩与抗压载体桩最大的区别为抗拔载体桩必须将桩身钢筋伸入载体内，且满足一定的长度。由于土层、填料体积及三击贯入度不同，施工对周围地基土的挤密效果不同，抗拔破坏模式也不完全相同，要精确计算桩身侧阻的提高及载体对受拔承载力的贡献较为困难，目前本标准仍参照传统桩基受拔承载力的计算方法进行载体桩受拔承载力的计算，结合载体桩的施工特点和工程经验给

出了式(4.3.2-1)和式(4.3.2-2)的计算公式和参数。实践证明计算结果与实际试验值相符,能指导设计。

4.4 沉降计算

4.4.4 由于载体桩桩间距一般为1.8m~2.4m,在上部荷载作用下桩和桩间土受力呈整体变形,故载体桩基沉降按等代实体基础进行验算。计算方法采用单向压缩分层总和法,等效作用面取载体计算底面,即混凝土桩身下2m,等效计算面积为载体桩(包括载体)形成的实体投影面面积,等代实体边长为外围桩形成的投影边长加2倍载体的扩散等效计算宽度。

载体桩桩身刚度大、压缩变形小,且载体核心区为水泥砂拌合物,硬化后类似混凝土,其强度高、压缩模量大。载体影响深度为3m~5m,水泥砂拌合物下的地基土在一定程度上被挤密,压缩模量提高,压缩性也显著降低。为简化计算,本标准将沉降计算深度取混凝土桩身下2m,该位置下的地基土压缩模量仍按原状土的压缩模量进行取值,综合考虑,该简化计算方法的结果与实际较为相符。

4.4.6 桩基沉降计算时,桩端地基土的附加压力一般有两种计算方法,其一为将承台底压力扣除承台底以下桩土实体基础外围侧阻后,除以桩端受力面积;另一种计算方法为将附加压力按某一角度沿深度扩散,扩散角度为 $1/4$ 土的内摩擦角。采用第一种计算方法,准永久组合下的侧阻力很难准确确定,若采用极限侧阻力进行计算,桩端的附加压力常常很小,甚至有时小于0,显然不合理。本次修订计算沉降时采用第二种方法计算桩端平面的附加压力。

当考虑相邻基础的影响时,按应力叠加原理采用角点法计算总沉降。

由于沉降计算结果与实际沉降有所偏差,计算时将计算值乘以沉降计算经验系数 ψ_p 对计算结果进行修正。 ψ_p 的取值建议结合地区经验进行取值,没有地区经验时,可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007执行。

5 载体桩复合地基设计

5.1 一般规定

5.1.1 载体桩复合地基将载体桩设计成复合地基的增强体，载体桩施工采用挤土工艺成孔，在一定程度上挤密了桩间土，故在欠固结回填土、液化土或湿陷性黄土中进行载体桩复合地基处理时，可考虑载体桩施工对欠固结回填土的挤密、液化和湿陷的消除。具体处理效果与设计参数相关。

5.2 复合地基设计

5.2.1 载体桩复合地基增强体直径一般为 400mm~600mm，其桩土压力分配受桩间距、桩间土的土性及褥垫层影响较大。为了让增强体承担更多荷载，对于桩间距大于 2m 的复合地基，一般会在距桩顶 1 倍桩径的范围内将桩径增大，有利于增强体承载力的发挥。桩顶扩径的尺寸，根据设计参数和桩土荷载分担比例确定。

5.2.5 载体桩复合地基与常规的增强体为有胶结强度的复合地基一样都是通过褥垫层发挥桩与桩间土的承载力，实现桩土共同受力。

载体桩复合地基受力时单桩侧阻力和轴力随深度的变化与常规 CFG 桩复合地基类似（图 3 为某载体桩复合地基加载时实测桩身侧阻和轴力随深度的变化），因此载体桩复合地基设计时承载力计算公式参照常规复合地基承载力的计算模型进行推算，即复合地基承载力为增强体承载力和桩间土承载力的复合，但由于载体桩复合地基中增强体是一种以桩端载体承载为主的桩型，因此桩土承载力的发挥比例不同，承载力计算中的参数与 CFG 桩复合地基计算参数不同。

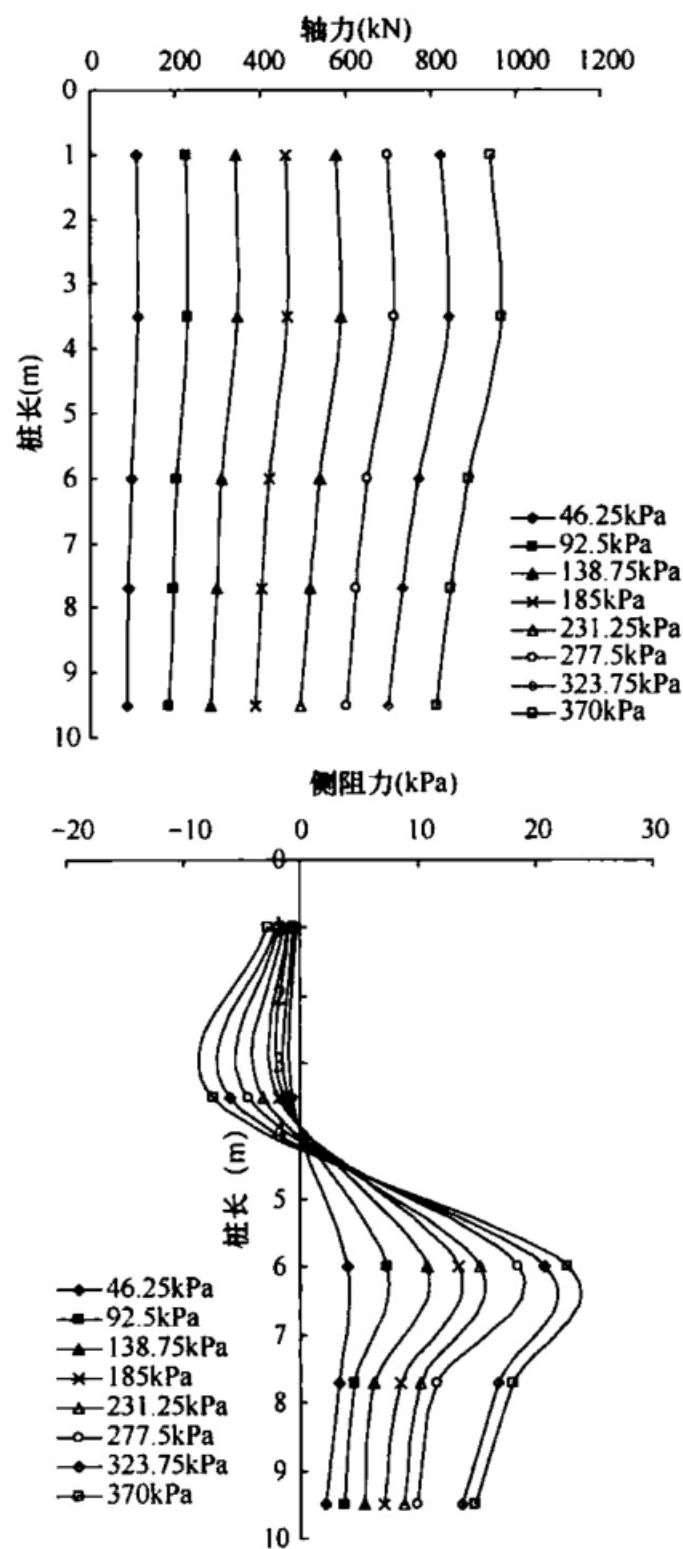


图3 某载体桩复合地基加载时实测侧阻力和轴力随深度的变化

6 施 工

6.0.3 由于大部分载体桩成孔工艺为非排土工艺，对桩周土有一定的挤密效果，而且载体施工采用填料夯实，对桩端土体也有挤密作用，因此施工中应合理安排施工的顺序，减少对周围成桩的影响。

1 为减少对成桩的影响一般采用退打的方式施工，避免在移机过程中对已完桩的损坏。

2 若施工顺序采用从外围向中间进行，一方面最后施工的载体桩成孔较为困难，另一方面对邻桩影响最大，因此载体桩施工顺序一般采取自中间向两端或自一侧向另一侧进行。

3 当场地内存在长短桩时，如果先施工长桩，再施工较短的载体桩。施工短桩时填料夯实可能会造成长桩桩身出现裂缝或断桩。因此施工时应先施工短桩，再施工长桩，避免填料夯实对邻桩桩身的破坏。

6.0.4 载体桩施工工艺主要包括成孔、载体施工和桩身施工。成孔的方式有锤击跟管、振动沉管、液化锤沉管、柴油锤沉管或潜孔锤成孔，但施工最早、应用最广的工艺为锤击跟管载体桩施工工艺。

6.0.5 随着施工设备的发展和应用范围的拓展，载体桩施工技术也在不断发展。最初载体施工的填料为碎砖、建筑垃圾等废弃物。随着技术发展，载体桩单桩承载力要求越来越大，对桩端材料强度的要求也相应增加，桩端施工填料由废弃物发展为水泥砂拌合物，施工工艺也有了较大的发展，结合水泥砂拌合物的施工，采用计算机自动控制的载体桩施工工艺，该工艺不仅提高了施工功效，同时施工参数通过计算机控制，减少了人为因素对施工质量的影响。

6.0.6 载体桩施工的机理是土体的密实理论，载体施工的目的是有效挤密桩端土体。当桩端土体为含水量高的黏性土，尤其是饱和黏性土时，施工中若锤出护筒过多，容易造成黏性土结构破坏从而降低地基土的承载力，达不到密实的效果，因此本标准规定当桩端为饱和黏性土时，应严格控制锤出护筒的距离，一般不超过 5cm，减少柱锤对土的扰动破坏。

载体施工后的密实度是载体施工成功与否的关键，密实度通过三击贯入度控制。对于某些含水量较高的黏性土，若锤出护筒太多，施工中可能造成黏性土结构破坏，形成橡皮土，这样有可能测量的三击贯入度小，但实际上地基土的密实度没有达到要求，由于橡皮土都会反弹，再次检测孔底时一般会发现回弹。故在该类土中施工时，要求在测完三击贯入度后检查孔底土的回弹，当回弹量超过 1cm 时，说明土体未有效挤密，必须夯实后再次测量三击贯入度。

6.0.8 载体桩的载体对受拔承载力有显著的作用，因此必须确保桩身的受拔力能有效传递到载体。施工中测量完三击后必须继续沉入护筒，将护筒沉入载体内一定深度，将钢筋锚固在载体内，钢筋的锚固长度满足受拔承载力的要求。载体桩受拔时，将荷载传递到载体，充分发挥载体的锚固作用。

7 验 收

7.0.8 由于载体桩为混凝土桩身加载体，混凝土桩身属于一维杆件，故载体桩桩身完整性的检测方法可采用反射波法进行检测。反射波法检测时，桩端反射波的相位与桩端面积、材料密度及波在材料中的传播速度相关，受桩端地基土土性、填料体积的影响，低应变检测时载体桩桩端反射波可能呈现同相位或反相位的反射，因此检测时应根据地质情况、施工资料并结合静载荷试验综合判断桩身完整性。

7.0.9 为保证复合地基受力，在进行承载力检测时，规定载体桩复合地基检测包括复合地基承载力检测和增强承载力检测。由于载体桩复合地基增强体单桩承载力较高，其桩间距往往较大，因此复合地基载荷试验时载荷往往较大，有时甚至无法进行，因此本标准规定在有经验的地区，可以采用增强体单桩承载力和桩间土承载力检测进行复合地基承载力的检测验收。

7.0.11 普通灌注桩载荷试验必须有一定的休止时间，主要是确保扰动土的恢复和桩身混凝土的强度满足设计要求。由于载体桩其承载力主要源于载体，桩侧部分提供比例较少，因此给设计提供参数的单桩竖向抗压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，这样较短时间内载体强度满足要求，可以将上部荷载传递到载体下持力层，可提前进行载荷试验，缩短时间。