

中华人民共和国行业标准

# 复合载体夯扩桩设计规程

Specification for design of ram-compaction piles  
with composite bearing base

**JGJ/T 135-2001**

**J 121-2001**

2 0 0 1 北 京

中华人民共和国行业标准  
复合载体夯扩桩设计规程

Specification for design of ram-compaction piles  
with composite bearing base

**JGJ/T 135-2001**

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2001年12月1日

中国建筑工业出版社

2001 北京

## 关于发布行业标准 《复合载体夯扩桩设计规程》的通知

建标[2001]170号

根据建设部《关于印发〈2000年工程建设城建、建工行业标准制订、修订计划〉的通知》(建标[2000]284号)的要求,由北京波森特岩土工程有限公司主编的《复合载体夯扩桩设计规程》,经审查,批准为行业标准,该标准编号为JGJ/T 135—2001,自2001年12月1日起施行。

本标准由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院负责管理,北京波森特岩土工程有限公司负责具体解释,建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版。

中华人民共和国建设部  
2001年8月7日

## 前 言

根据建设部建标[2000]284号文件的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：1 复合载体夯扩桩的设计原则；2 复合载体夯扩桩竖向承载力、水平承载力、桩基沉降计算；3 承台的设计方法；4 桩基工程质量检查。

本规程由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院归口管理，授权由主编单位负责具体解释。

本规程主编单位是：北京波森特岩土工程有限公司(北京市昌平区东小口镇天通苑小区三区七号楼 1904 室，邮政编码 102209，联系电话(传真):010—84810820)

本规程参加单位是：中国建筑科学研究院、清华大学、天津大学建筑设计研究院、天津市建工设计院

本规程主要起草人员是：王继忠 闫明礼 李广信 凌光容 方继圣 陈彦峰

## 目 次

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1 总 则 .....          | 6  |
| 2 术语、符号 .....        | 7  |
| 3 基本规定 .....         | 9  |
| 4 桩基计算 .....         | 11 |
| 5 承台设计 .....         | 16 |
| 6 桩基工程质量检查 .....     | 17 |
| 附录 A 单桩竖向静载荷试验 ..... | 18 |
| 本规程用词说明 .....        | 19 |

# 1 总 则

**1.0.1** 为了使复合载体夯扩桩的设计做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工业与民用建筑(包括构筑物)的复合载体夯扩桩设计。

**1.0.3** 复合载体夯扩桩的设计应因地制宜，综合考虑地质条件、环境条件、建筑物结构类型、荷载特征和施工设备性能等因素。

**1.0.4** 复合载体夯扩桩设计除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 复合载体夯扩桩 ram-compaction piles with composite bearing base

采用细长锤夯击成孔，将护筒沉到设计标高后，细长锤击出护筒底一定深度，分批向孔内投入填充料和干硬性混凝土，用细长锤反复夯实、挤密，在桩端形成复合载体，最后放置钢筋笼，灌注桩身混凝土而形成的桩。

#### 2.1.2 填充料 fill material

含泥量不大于 10%、有机物含量不大于 3%的碎砖、碎混凝土块、碎石、卵石和矿渣等。

#### 2.1.3 复合载体 composite bearing base

由干硬性混凝土、填充料、挤密土体、影响土体组成的载体。

#### 2.1.4 夯扩体 ram compaction body

由干硬性混凝土、填充料组成。

#### 2.1.5 被加固土层 stabilized soil layer

复合载体所在的土层。

#### 2.1.6 复合载体持力层 bearing stratum for composite bearing base

直接承受复合载体传递的荷载的土层。

#### 2.1.7 挤密土体 soil in compacted zone

夯扩体周围被夯实挤密的土体。

#### 2.1.8 细长锤 slender hammer

直径为 250~500mm，长为 3000~5000mm，锤的质量为 1.5~5t，用以夯实填充料和干硬性混凝土的锤。

#### 2.1.9 三击贯入度 three drive penetration

指夯实后，当不再填料时连续夯击三次后锤的下沉量。

### 2.2 符 号

$A_e$ —等效桩端计算面积；

$A_p$ —桩身截面面积；

$d$ —桩身直径；

$e$ —土的孔隙比；

- $E_{si}$ —桩基沉降计算范围内第  $i$  层土的压缩模量，按实际应力范围取值；
- $f_a$ —经深宽修正的复合载体持力层承载力特征值；
- $f_{ak}$ —复合载体持力层地基承载力特征值；
- $I_L$ —土的液性指数；
- $l$ —桩身长度；
- $l_i$ —桩穿越第  $i$  层土的厚度；
- $p_0$ —对应荷载准永久组合压缩层顶部的附加压力；
- $q_{pa}$ —经深度修正后的持力层承载力特征值；
- $q_{sia}$ —桩侧第  $i$  层土的侧阻力特征值；
- $R_a$ —单桩竖向承载力特征值；
- $s$ —桩基最终沉降量；
- $u_p$ —桩身断面周长；
- $Z_i$ —复合载体持力层顶面至第  $i$  层土底面的距离；
- $\bar{\alpha}_i$ —复合载体持力层顶面计算点至第  $i$  层土底面深度范围内平均附加应力系数；
- $\sigma_c$ —地基土自重应力；
- $\sigma_z$ —地基中的附加应力。

### 3 基本规定

**3.0.1** 岩土工程勘察应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定执行。

**3.0.2** 当无类似地质条件下的成桩试验资料时，应要求施工前进行成桩试验，以确定施工参数。

**3.0.3** 桩的间距不宜小于 1.6~2.0m；持力层为粉土、砂土应取小值，含水量较高的粘性土应取大值。

**3.0.4** 复合载体持力层应为可塑到硬塑状态的粘性土以及粉土、砂土、碎石土。

**3.0.5** 复合载体持力层相对被加固土层较软弱时，应满足承载力和变形要求。

**3.0.6** 桩端被加固土层应为可塑到硬塑状态的粘性土以及粉土、砂土、碎石土。被加固土层厚度不宜小于 2m。当软塑状态的粘性土、素填土、杂填土和湿陷性黄土经过载荷试验确定桩基承载力稳定可靠时，也可作为桩端被加固土层。

**3.0.7** 桩身不应进入有承压水的土层中。

**3.0.8** 桩身构造应符合下列规定：

- 1 桩身长度应由所选择的被加固土层埋深和承台底标高确定；
- 2 桩身混凝土强度等级不得低于 C20；
- 3 主筋混凝土保护层厚度不应小于 40mm；
- 4 钢筋笼宜通长配筋；在下列情况下应通长配筋，并进行配筋计算：
  - 1)抗拔桩(主筋进入夯扩体)；
  - 2)受水平荷载和弯矩较大的桩；
  - 3)设防烈度为 8 度及 8 度以上地震区的桩；
  - 4)被加固土层为软土层或较厚人工填土层。

5 桩身直径可取 350~600mm，桩身配筋率可取 0.20%~0.65%，但主筋不得少于 6 根  $\Phi 12$ ，可采用不少于  $\Phi 6@300\text{mm}$  的螺旋箍筋，桩顶 3~5 倍桩身直径范围内箍筋应适当加密，当钢筋笼的长度超过 4m 时，应每隔 2m 设一道  $\Phi 12$  焊接加劲箍筋。纵筋伸入承台的锚固长度不得小于 35 倍主筋直径。

**3.0.9** 计算桩基础沉降时，传至桩顶的荷载效应应采用正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用。桩基础的沉降量不得超过建筑物的允许沉降值。

**3.0.10** 夯扩体的投料量确定，应符合下列规定：

- 1 夯击后地面隆起不得大于 50mm；

2 对桩基础施工要求:应采取相应措施防止对相邻桩的不良影响,且相邻桩的竖向位移值不得大于 20mm;

3 在满足 1、2 款情况下,以三击贯入度控制夯扩体的投料量。投料量不宜小于  $0.5\text{m}^3$ ,且不宜大于  $1.8\text{m}^3$ 。当投料量大于  $1.8\text{m}^3$  时,应调整桩长或改变施工参数。

## 4 桩基计算

### 4.1 一般规定

4.1.1 竖向荷载作用下基桩竖向承载力应符合下列规定：

1 轴心竖向力作用下，应满足下式要求：

$$Q_k \leq R_a \quad (4.1.1-1)$$

式中  $Q_k$ —相应于荷载效应标准组合轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力；

$R_a$ —单桩竖向承载力特征值。

2 偏心竖向力作用下除满足式(4.1.1-1)外，尚应满足下式要求：

$$Q_{k \max} \leq 1.2R_a \quad (4.1.1-2)$$

式中  $Q_{k \max}$ —相应于荷载效应标准组合偏心竖向力作用下单桩的最大竖向力。

4.1.2 水平荷载作用下，基桩水平承载力应符合下式要求：

$$H_k \leq R_{ha} \quad (4.1.2)$$

式中  $H_k$ —相应于荷载效应标准组合时，作用于任一单桩桩顶处的水平力；

$R_{ha}$ —单桩水平承载力特征值。

### 4.2 单桩竖向承载力确定

4.2.1 单桩竖向承载力特征值应根据本规程附录 A 的规定通过竖向静载荷试验确定。对地基基础设计等级为丙级的建筑，也可按相近地质条件下的试桩资料确定。在同一条件下，试桩数量不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。

4.2.2 初步设计时，单桩竖向承载力特征值可用下式估算：

$$R_a = \mu_p \sum q_{sia} l_i + q_{pa} \cdot A_e \quad (4.2.2)$$

式中  $R_a$ —单桩竖向承载力特征值；

$\mu_p$ —桩身断面周长(m)；

$q_{sia}$ —桩侧第 i 层土的侧阻力特征值；

$l_i$ —桩身穿越第 i 层土的厚度(m)；

$q_{pa}$ —复合载体下地基土经深度修正后的地基持力层承载力特征值，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 确定；

$A_e$ —等效桩端计算面积(m<sup>2</sup>)，其值可按表 4.2.2 选用。

表 4.2.2 等效桩端计算面积  $A_e(m^2)$ 

| 被加固土层土性  |                        | 三击贯入度(cm) |         |         |
|----------|------------------------|-----------|---------|---------|
|          |                        | 10        | 20      | 30      |
| 粘土       |                        | 1.6~1.9   | 1.4~1.8 | 1.3~1.6 |
| 粉质<br>粘土 | $0.75 < I_L \leq 1.0$  | 2.3~2.6   | 2.1~2.5 | 1.8~2.3 |
|          | $0.25 < I_L \leq 0.75$ | 2.2~2.5   | 1.8~2.3 | 1.6~2.2 |
|          | $0.0 < I_L \leq 0.25$  | 2.0~2.3   | 1.7~2.2 | 1.5~2.0 |
| 粉土       | $e > 0.8$              | 1.8~2.1   | 1.6~2.0 | 1.5~1.9 |
|          | $0.7 < e < 0.8$        | 1.7~2.0   | 1.6~1.9 | 1.5~1.8 |
|          | $e \leq 0.7$           | 1.6~1.9   | 1.5~1.8 | 1.2~1.7 |
| 粉细砂      | 稍密                     | 1.8~2.0   | 1.6~1.9 | 1.4~1.8 |
|          | 中密                     | 1.6~1.9   | 1.4~1.7 | 1.3~1.6 |
| 碎石土      | 稍密                     | 1.5~1.7   | 1.3~1.6 | 1.2~1.5 |

注：三击贯入度以 3.5t 重锤和 6.0m 落距为基准，锤径为 355mm。

4.2.3 对于桩数多于 9 根的单独基础和满堂布桩，应进行等代实体深基础承载力的验算，并符合下列公式的要求：

$$p \leq f_a \quad (4.2.3-1)$$

$$p = \frac{F + G - 2(L_0 + B_0) \sum q_{sia} l_i}{(L_0 + 2\Delta R)(B_0 + 2\Delta R)} + \bar{\gamma}(L_1 + 2) \quad (4.2.3-2)$$

式中  $p$ —持力层顶面附加压力；

$f_a$ —经深宽修正的复合载体持力层承载力特征值；

$F$ —桩顶竖向荷载；

$G$ —承台及其上土重；

$L_0$ —承台底处桩的外缘起算基础的长度(m)；

$B_0$ —承台底处桩的外缘起算基础的宽度(m)；

$\Delta R$ —等效计算距离，可取 0.6~1.0m，当持力层土相对被加固土层较弱时，取大值；当持力层土相对被加固土层较硬时，取小值。

$L_1$ —桩长；

$\bar{\gamma}$ —复合载体顶面以上至承台底范围内土的加权平均重度，地下水位以下取浮重度。

4.2.4 桩的承载力应满足桩身混凝土强度的要求，桩身强度应符合下式要求：

$$Q \leq 0.7 f_c A_p \quad (4.2.4)$$

式中  $Q$ —相应于荷载效应基本组合时单桩的竖向力设计值；

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

$A_p$ —桩身截面面积。

### 4.3 单桩水平承载力确定

4.3.1 单桩水平承载力特征值应通过现场水平载荷试验确定，必要时可进行带承台桩的载荷试验，试验应采用慢速维持荷载法。

4.3.2 桩身配筋率小于 0.65%时，单桩水平承载力特征值应取单桩水平静载荷试验的临界荷载；当配筋率不小于 0.65%时，可按静载荷试验结果取地面处桩顶水平位移为 10mm 所对应的荷载为单桩水平承载力特征值。

4.3.3 承受竖向荷载为主的低桩承台桩基，当地面下无液化土层且桩承台周围无淤泥、淤泥质土或地基土承载力特征值不小于 100kPa 的填土时，下列建筑可不进行桩基抗震承载力验算。

- 1 砌体房屋，多层内框架砖房，底层框架砖房，水塔；
- 2 抗震设防烈度为 7 度和 8 度时，一般单层厂房，单层空旷房屋、多层民用框架房屋及与其基础荷载相当的多层框架厂房，高度不超过 100m 的烟囱。

### 4.4 桩基沉降计算

4.4.1 对以下建筑物的桩基应进行沉降验算：

- 1 地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基；
- 2 对沉降有严格要求的建筑物桩基；
- 3 体型复杂或桩端以下存在软弱土层的乙级建筑物桩基。

丙级建筑物桩基、桩中心距大于 6 倍桩径的桩基、9 桩以下的独立承台桩基、条形基础下不超过两排桩的桩基、工作级别 A5 及 A5 以下吊车的单层工业厂房桩基，可不进行沉降验算。

4.4.2 桩基沉降应按下列公式计算(图 4.4.2)：

$$s = \psi_s p_0 \sum_{i=1}^n \frac{z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1}}{E_{si}} \quad (4.4.2-1)$$

$$p_0 = \frac{F + G - \gamma d_h A}{(L_0 + 2\Delta R)(B_0 + 2\Delta R)} \quad (4.4.2-2)$$

对于墙下布桩条形承台梁基础：

$$p_0 = \frac{F + G - \gamma d_h A}{L_0 (B_0 + 2\Delta R)} \quad (4.4.2-3)$$

式中  $s$ —桩基最终沉降量(mm)；

- $\psi_s$ —沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定；
- $p_0$ —对应荷载准永久组合压缩层顶部的附加压力；
- $n$ —桩基沉降计算范围内所划分的土层数；
- $z_i$ 、 $z_{i-1}$ —复合载体底面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离(m)；
- $\bar{a}$ 、 $\bar{a}_{i-1}$ —第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面深度范围内平均附加应力系数，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定采用；
- $E_{si}$ —桩基沉降计算范围内第  $i$  层土的压缩模量(MPa)，按实际应力范围取值；
- $A$ —承台面积(m<sup>2</sup>)；
- $d_h$ —承台埋深(m)。

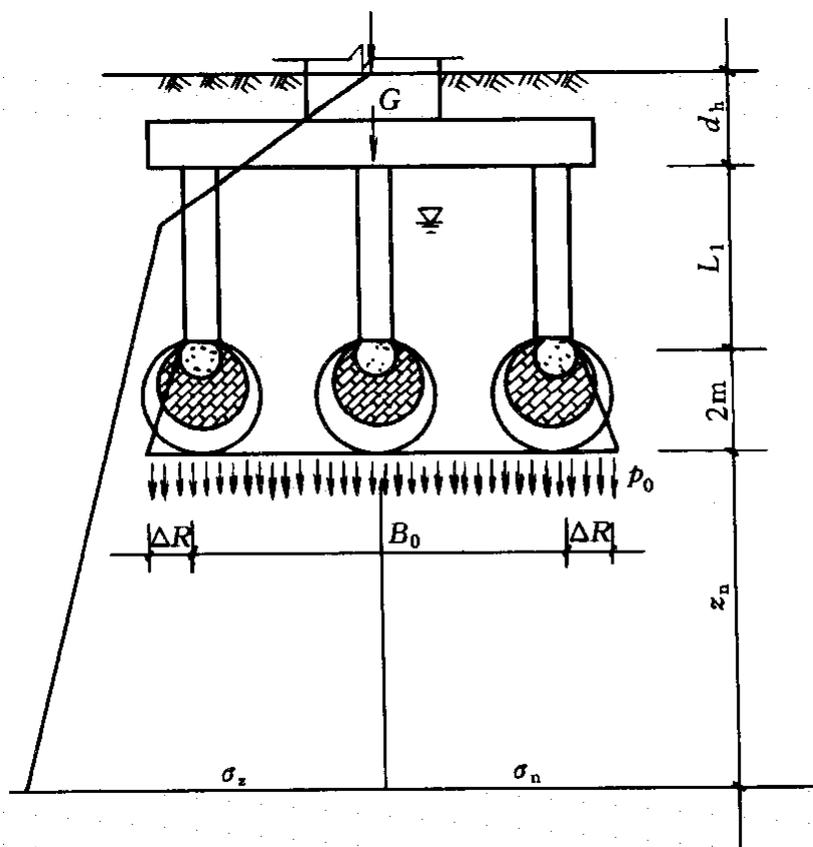


图 4.4.2 桩基沉降计算

4.4.3 地基沉降计算深度( $z_n$ )，应符合下式要求：

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (4.4.3)$$

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

$\Delta s'_n$ —由计算深度向上取厚度为  $\Delta z$  的土层计算变形值， $\Delta z$  应按表 4.4.3 确定。

如确定的计算深度下部仍有较软土层时，应继续计算。

表 4.4.3

| 基础宽度<br>b (m)  | $\Delta z$ |                |                |                 |                  |          |
|----------------|------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|----------|
|                | $b \leq 2$ | $2 < b \leq 4$ | $4 < b \leq 8$ | $8 < b \leq 15$ | $15 < b \leq 30$ | $30 < b$ |
| $\Delta z$ (m) | 0.3        | 0.6            | 0.8            | 1.0             | 1.2              | 1.5      |

4.4.4 建筑物的桩基变形计算值，不应大于建筑物的桩基变形允许值。

4.4.5 桩基变形特征可分为沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜。

4.4.6 计算桩基变形时，桩基变形应符合下列规定：

由于土层厚度与性质不均匀、荷载差异、体型复杂等因素引起的桩基变形，对于砌体承重结构应由局部倾斜控制；对于框架结构和单层排架结构应由相邻柱基的沉降差控制；对于多层或高层建筑和高耸结构应由倾斜值控制；应控制平均沉降量。

4.4.7 建筑物桩基变形允许值可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定采用。

## 5 承台设计

**5.0.1** 承台的计算应按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行。

**5.0.2** 对于砌体结构承重墙下条形承台梁尚应符合下列规定：

- 1 条形承台梁内力按倒置弹性地基梁计算时，支座负弯矩可有 10% 以内的调幅。
- 2 承台梁的截面高度不宜小于 400mm 和 1/5 桩中心距中的较大值，也不宜大于 600mm。条形承台梁边缘挑出部分不应小于 75mm；
- 3 承台梁的主筋除按计算配置外，尚应满足最小配筋率要求，且上下主筋均不应少于 3 根  $\Phi 14$ ，箍筋不应少于  $\Phi 6@250\text{mm}$ ，桩顶嵌入承台梁深度不宜小于 50mm。承台梁混凝土强度等级不应低于 C20。

## 6 桩基工程质量检查

### 6.1 成桩质量检查

**6.1.1** 施工单位应提供经确认的施工过程中的桩身质量有关材料，包括原材料的力学性能检验报告，试件留置数量及制作养护方法、混凝土抗压强度试验报告、钢筋笼制作质量检查报告。

**6.1.2** 对复合载体应检查下列项目：

- 1 填料成分；
- 2 每次填料量；
- 3 累计填料量；
- 4 干硬性混凝土量；
- 5 三击贯入度及每击贯入度值。

### 6.2 单桩完整性及承载力检测

**6.2.1** 工程桩应进行桩身质量检验，可采用低应变动测法检测，抽检桩数应为总桩数的 10%~20%，且不少于 10 根。

**6.2.2** 工程桩应进行竖向承载力检验，竖向承载力检验的方法应采用静载荷试验，检验桩数不得少于同条件下总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

**6.2.3** 在桩身混凝土强度达到设计要求的前提下，从成桩到开始试验的间歇时间，对于砂类土不应少于 10d；对于粉土和粘性土不应少于 15d。

## 附录 A 单桩竖向静载荷试验

**A.0.1** 单桩竖向静载荷试验的加载方式，应按慢速维持荷载法。

**A.0.2** 加载反力装置可采用堆载或锚桩。

**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<br>压重平台反力装置 | $\geq 4d$ 且 $> 2.0m$ | $\geq 4d$ 且 $> 2.0m$ | $\geq 4d$ 且 $> 2.0m$ |

**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  $1/8 \sim 1/10$ 。

**A.0.5** 测读桩沉降量的间隔时间:每级加载后，每第 5、10、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** 稳定标准:在每级荷载作用下，桩的沉降量连续两次在每小时内小于 0.1mm。

**A.0.7** 出现下列情况时应中止加载:

- 1 当荷载-沉降(Q-s)曲线上有可判定极限承载力的陡降段，且桩顶总沉降量超过 60mm;
- 2 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;
- 3 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;

**A.0.8** 卸载观测的规定:每级卸载值为加载值的两倍。卸载后隔 15min 测读一次，读两次后，隔 0.5h 再读一次，即可卸下一级荷载。全部卸载后，隔 3~4h 再测读一次。

**A.0.9** 单桩竖向极限承载力的确定应符合下列规定:

- 1 当陡降段明显时，取相应于陡降段起点的荷载值;
- 2 Q-s 曲线呈缓变形时，取桩顶总沉降量为 60mm 时所对应的荷载值;
- 3 当出现本规程 A.0.7-3 的情况，取前一级荷载值。

**A.0.10** 参加统计的试桩，当满足其极差不超过平均值的 30%时，可取其平均值为单桩竖向极限承载力。极差超过平均值的 30%时，宜增加试桩数量并分析离差过大的原因，结合工程具体情况确定极限承载力。对桩数为 3 根及 3 根以下的桩下桩基，应取最小值。

将单桩竖向极限承载力除以安全系数 2，可作为单桩竖向承载力特征值  $R_a$ 。

## 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”。

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“应按……执行”或“应符合……规定(或要求)”。