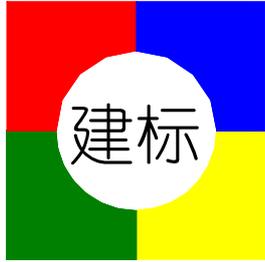


工程建设标准全文信息系统

国家建筑工程总局标准
工业与民用建筑
灌注桩基础设计与施工规程

JGJ 4—80



1980 北京

工程建设标准全文信息系统

国家建筑工程总局标准

工业与民用建筑

灌注桩基础设计与施工规程

JGJ 4—80

主编部门：中国建筑科学研究院

批准部门：国家建筑工程总局批准报

国家基本建设委员会备案

试行日期：1981年1月1日

通 知

(80) 建工科字第 310 号

《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》由中国建筑科学研究院会同有关单位编制，现经审定，批准为部颁标准，编号为 **JGJ 4—80**，自一九八一年一月一日起试行。

本规程与《工业与民用建筑地基基础设计规范》(TJ 7—74)、《地基和基础工程施工及验收规范》(GBJ 17—66) 中有关灌注桩基础的某些条文规定有不一致之处，可按本规程执行。

各单位在试行过程中要注意积累资料，总结经验，将有关资料和意见随时函告中国建筑科学研究院地基基础研究所。

国家建筑工程总局

一九八〇年五月三十一日

编制说明

本规程是根据国家基本建设委员会〔74〕建革技字〔236〕号文和〔78〕建发科字〔138〕号文下达的任务，由我院会同黑龙江省第四建筑工程公司、广州市设计院、广东省基础公司、天津市化工设计院、湖南省第四建筑工程公司、甘肃省建筑工程局建筑科学研究所、北京市机械施工公司和六机部第九设计院等单位共同编制的。

在编制过程中，进行了广泛的调查研究，总结了我国建国三十年，特别是近五年来工业与民用建筑灌注桩基础的设计、施工经验和科研成果；吸取了我国公路、铁路等方面以及国外的有关经验，并征求了全国有关单位的意见，最后经会议审定通过。

由于灌注桩尚处在发展阶段，有些问题还有待通过实践不断研究提高，因此，在试行过程中，请各单位注意加强科学研究，积累资料，总结经验；如发现需要修改或补充之处，请将意见及有关资料寄交我院地基基础研究所，以供今后修订时参考。

中国建筑科学研究院

目 录

| | |
|-------------------|----|
| 第一章 总则 | 1 |
| 第二章 灌注桩基础设计 | 3 |
| 第一节 一般规定 | 3 |
| 第二节 构造 | 8 |
| (I) 桩身 | 8 |
| (II) 承台 | 10 |
| 第三节 桩基计算 | 13 |
| (I) 桩顶荷载计算 | 13 |
| (II) 桩基垂直承载力及其验算 | 15 |
| (III) 桩基水平承载力及其验算 | 21 |
| (IV) 桩身强度和抗裂性验算 | 27 |
| (V) 桩承台的内力计算与强度验算 | 28 |
| 第三章 灌注桩基础施工 | 30 |
| 第一节 施工准备 | 30 |
| 第二节 灌注桩的施工 | 31 |
| (I) 一般规定 | 31 |
| (II) 螺旋钻成孔灌注桩 | 34 |
| (III) 潜水钻成孔灌注桩 | 36 |
| (IV) 机动洛阳铲挖孔灌注桩 | 38 |
| (V) 冲击成孔灌注桩 | 39 |
| (VI) 钻孔扩底灌注桩 | 43 |
| (VII) 锤击沉管灌注桩 | 44 |

工程建设标准全文信息系统

| | | |
|--------|---|-----|
| (VIII) | 振动、振动冲击沉管灌注桩 | 46 |
| (IX) | 水下混凝土的灌注 | 48 |
| 第三节 | 承台施工 | 49 |
| 第四节 | 灌注桩基础工程验收 | 50 |
| 附录一 | 灌注桩成孔工艺选择参考表 | 52 |
| 附录二 | 考虑承台（包括地下墙体）与基桩协 同工作和土的弹性抗力作用计算受 水平力的桩基 | 54 |
| 附录三 | 基桩计算长度和桩身纵向弯曲系数 ... | 91 |
| 附录四 | 按倒置弹性地基梁计算墙下条形桩 基承台梁 | 92 |
| 附录五 | 受地震水平力的一般建筑物桩基设 计计算举例 | 96 |
| 附录六 | 灌注桩基础施工记录表 | 106 |
| 附录七 | 本规程条文中用词和用语的说明 | 110 |
| 参考资料一 | 桩的现场试验 | 110 |
| 参考资料二 | 常用灌注桩的成孔机械性能 | 128 |
| 参考资料三 | 灌注桩施工设备示意图例 | 131 |

基本符号

内 外 力

- G —— 桩基承台自重和承台上土重；
 G_s —— 按设计桩径确定的桩身自重；
 H —— 作用于桩基承台底面的水平力；
 H_1 —— 作用于单桩桩顶的水平力；
 H_i —— 作用于第 i 桩桩顶的水平力；
 H_u —— 单桩水平极限荷载；
 H_{cr} —— 单桩水平临界荷载；
 H_a —— 单桩水平容许承载力；
 M_x 、 M_y —— 作用于桩基上的外力对通过桩群形心的
X、Y 轴的外力矩；
 N —— 作用于桩基承台顶面上的垂直荷载；
 N_0 —— 作用于单桩桩顶的垂直恒载；
 N_1 —— 作用于单桩桩顶的轴向压力；
 N_{1max} —— 作用于单桩桩顶的最大轴向压力；
 N_i —— 作用于第 i 桩桩顶的轴向力；
 P_u —— 单桩轴向受压极限荷载；
 P_a —— 单桩轴向受压容许承载力。

计 算 指 标

- E_g —— 钢筋的弹性模量；

- E_h ——混凝土的弹性模量；
- f ——桩周土的容许摩阻力；
- f_i ——桩周第 i 层土的容许摩阻力；
- R_j ——土的容许端承力；
- R_a ——混凝土的轴心抗压设计强度；
- R_t ——混凝土的抗拉设计强度；
- R_f ——混凝土的抗裂设计强度；
- τ_c ——土的冻胀切力。

几 何 特 征

- A ——桩身截面面积；
- A_n ——桩身换算截面面积；
- A_0 ——单桩桩底压力分布面积；
- A_g ——纵向钢筋面积；
- F_t ——冻土层中桩的侧表面积；
- B ——验算方向的房屋宽度；
- b_0 ——桩身计算宽度；
- d ——桩的设计直径；
- d_1 ——成桩直径；
- d_e ——套管外径；
- d_g ——钢筋直径；
- d_0 ——纵向钢筋圆环的直径；
- e_0 ——荷载偏心距；
- h ——桩的入土深度；
- h_n ——承台埋深；
- I ——截面惯性矩；

- I_0 ——换算截面惯性矩；
- l ——桩长；
- l_c ——桩的计算长度；
- l_0 ——高桩台基桩露出地面的长度；
- L_i ——桩周第 i 层土的厚度；
- s ——桩的中心距；
- W_0 ——换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩；
- x_i 、 y_i —— i 桩至通过桩群形心的 Y 、 X 轴的距离。

计算系数

- K ——桩身或承台强度设计安全系数；
- K_y ——单桩轴向受压承载力的安全系数；
- K_H ——单桩水平承载力的安全系数；
- K_f ——抗裂设计安全系数；
- C_0 ——桩底面地基土竖向抗力系数；
- C_b ——承台底面地基土竖向抗力系数；
- C_R ——岩石地基竖向抗力系数；
- C_n ——承台侧面地基土水平抗力系数；
- C ——桩侧地基土水平抗力系数；
- m ——地基土水平抗力系数的比例系数；
- m_o ——地基土竖向抗力系数的比例系数；
- m_x ——位移换算系数；
- ν_M ——桩顶（身）最大弯矩系数；
- ν_x ——桩顶水平位移系数；
- ξ_N ——桩身轴向压力传布系数；
- ξ_M ——桩身弯矩调整系数；

- λ ——抗拔容许摩阻力与受压容许摩阻力的比例系数；
- $\eta_x \eta_y$ ——第 i 桩在 X 、 Y 方向的弯矩分配系数；
- $\eta_I \eta_{II}$ ——I—I、II—II 截面的弯矩分配系数；
- η ——偏心距增大系数；
- α ——桩身变形系数；
- α_c ——荷载性质系数；
- α_e ——与偏心距有关的系数；
- φ ——桩身纵向弯曲系数；
- $\bar{\varphi}$ ——桩周各土层内摩擦角的加权平均值；
- γ ——桩身截面抵抗矩的塑性系数；
- β ——综合系数；
- μ ——摩擦系数；
- μ_g ——桩身配筋率；
- n ——桩数或钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；
- x ——水平位移；
- x_{cr} ——水平临界荷载对应的水平位移；
- x_{0a} ——桩顶容许的水平位移。

第一章 总 则

第 1-0-1 条 本规程适用于工业与民用建筑（包括房屋和构筑物）灌注桩基础的设计与施工（不包括爆扩灌注桩）。

第 1-0-2 条 灌注桩基础的设计和施工，要因地制宜，综合考虑地基土层性质、地下水情况、场地条件与环境、施工设备性能、上部结构类型、荷载大小与性质等因素，精心设计、精心施工，做到技术先进、经济合理、确保质量。

第 1-0-3 条 灌注桩按现有成孔工艺划分为：

一、钻、挖、冲孔灌注桩：包括螺旋钻成孔、潜水钻成孔、机动洛阳铲挖孔和冲击成孔的灌注桩；

二、钻孔扩底灌注桩；

三、沉管灌注桩：包括锤击沉管、振动沉管和振动冲击沉管成孔的灌注桩。

成孔工艺可参照附录一选取。

第 1-0-4 条 采用本规程进行灌注桩基础设计、施工时，尚应符合现行有关标准、规范的要求（若与《工业与民用建筑地基基础设计规范》**TJ 7—74**、《地基和基础工程施工及验收规范》**GBJ 17—66**（修订本）中有关灌注桩部分的规定有不一致之处，按本规程执行）。

第 1-0-5 条 关于试桩

一、灌注桩基础应尽量进行桩的垂直静载试验，以确定垂直承载力。属于下列情况之一者，必须进行桩的垂直

静载试验。

1. 重要的、有纪念性的大型建筑；
2. 使用上、生产工艺上对基础沉降有特殊限制的建筑；
3. 住宅群和工业建筑群；
4. 缺乏施工经验和试桩资料时；
5. 地质情况复杂，成桩质量有怀疑时。

二、属于下列情况之一者，应进行桩的水平静载试验：

1. 经常受较大水平力的桩基础；
2. 抗震设防为八度和八度以上的重要的、有纪念性的建筑、高大建筑（八层以上的高层房屋、高度 30 米以上的工业厂房和高耸构筑物，下同）和建筑群；
3. 抗震设防为七度和七度以上的对基础水平位移有特殊限制的建筑。

三、经常承受拔力的桩基应进行桩的抗拔试验。

四、对于地质条件、成桩工艺、桩径和桩长相近的桩基工程，垂直、水平静载试桩和抗拔试桩的数量不得少于 2 根，并不宜少于 1%。

五、水平静载试验可利用经垂直静载试验后的试桩，但不能用工程桩进行。

第 1-0-6 条 属于下列情况之一的采用灌注桩基础的建筑，应进行系统的沉降观测：

1. 重要的或有代表性的高大建筑；
2. 使用或构造上对沉降有特殊限制的建筑；
3. 使用灌注桩的经验尚不足时。

第二章 灌注桩基础设计

第一节 一般规定

第 2-1-1 条 灌注桩基础设计应具备以下基本资料：

一、工程地质资料，其内容一般包括：

1. 根据土层分布的均匀程度，按现行《工业与民用建筑工程地质勘察规范》**TJ 21—77** 中对桩基勘察要求绘制的工程地质剖面图、钻孔柱状图；

2. 控制性钻孔的土的物理力学性质指标。

对于粘性土应包括天然容重、天然含水量、孔隙比、塑性指数、液性指数、压缩模量、内摩擦角、粘聚力、地基土容许承载力；

对于砂土和碎石类土应包括颗粒级配、密实程度；

对于岩石应包括类别、风化程度、单轴极限抗压强度；

3. 控制性钻孔附近静力触探贯入阻力沿深度的变化曲线（有条件进行静力触探的地区）；

4. 附近地区可供参考的试桩资料；

5. 地下水位及地下水化学分析结论；

6. 有关地基土冻胀性的资料。

二、建筑场地与环境的条件：包括地下管线和地下构筑物，施工机械进出场和运行条件，水电源、防振、防噪声的要求，泥浆排泄条件等。

三、建筑场地的总平面及建筑物基础平面图。

四、上部结构类型与形式、荷载大小及其分布和性质、生产工艺与使用对基础沉降和水平位移的要求。

五、抗震设防等级。

六、施工机械的型号和性能。

第 2-1-2 条 灌注桩的基本尺寸和布置应符合：

一、桩长与设计桩径比 l/d （简称长径比）一般应符合表 2-1-2-1 规定。

桩的长径比 表 2-1-2-1

| 桩 型 | 穿越一般粘性土、砂土 | 穿越淤泥、自重湿陷性黄土 |
|-------|---------------|---------------|
| 端 承 桩 | $l/d \leq 60$ | $l/d \leq 40$ |
| 摩 擦 桩 | 不 限 | 不 限 |

二、桩的最小中心距 s 按表 2-1-2-2 采用。

桩的最小中心距 s 表 2-1-2-2

| 成 孔 工 艺 | | 一般情况 | 排列超过 2 排，桩数 超过 9 根的摩擦柱基础 |
|----------------------|--------|----------------|-----------------------------|
| 钻、挖、冲孔灌注桩 钻孔扩底灌注桩 | | 2. 5d 1. 5D | 3. 0d |
| 沉 管 灌 注 桩 | 穿越非饱和土 | 3. 0d | 3. 5d |
| | 穿越饱和土 | 3. 5d | 4. 0d |

注： d ——桩身设计直径（钻直径或沉管外直径，下同），详见第 2-3-4 条。

D ——扩大端设计直径，下同。

三、排列基桩时，应尽量使桩群形心与外荷载重心重合，并应使桩基在受水平力和弯矩较大方向有较大的抵抗矩。

四、同一建筑物应避免同时采用端承桩和摩擦桩（用沉降缝分开者例外）。同一基础相邻桩的桩底标高差，对于支承在非岩石类土上的端承桩，不宜超过桩的中心距；对于摩擦桩，在相同土层中不宜超过桩长的 1/10。

五、桩端进入硬持力层的深度，对于粘性土和砂土，不宜小于 2~3 倍桩径；对于碎石类土不宜小于 1~2 倍桩径。当存在软下卧层时，桩基以下硬持力层厚度一般不宜小于 5 倍桩径。穿越软弱土层支承于倾斜基岩上的端承桩，当强风化岩层厚度小于 2 倍桩径时，桩端应嵌入微风化或未风化基岩层。（桩径指设计桩径）

第 2-1-3 条 在灌注桩基础的设计中，应根据具体情况进行下列项目的计算：

一、验算作用于桩基的垂直荷载，使其不超过按第三节确定的桩基容许垂直承载力，并验算桩身的强度。

二、对于承受水平力的桩基，必须验算桩基的水平承载力，必要时应验算桩基的水平位移和桩身的裂缝宽度。

三、对于承受拔力的桩基，必须验算桩的抗拔稳定性和桩身的抗拉强度，并根据具体情况验算桩身的裂缝宽度。

四、当建筑物对桩基的沉降有要求时，应作沉降验算。

五、当桩基下有软下卧层时，应对软下卧层的承载力进行验算。

六、计算桩基承台的内力并验算其强度。

第 2-1-4 条 季节性冻土和膨胀土地基灌注桩基础宜按下列原则设计：

一、为了消除土的冻胀或膨胀对建筑物的影响，灌注桩宜采用钻挖孔桩或钻孔扩底桩。

二、考虑到冻胀、膨胀对垂直承载力的影响，确定基桩垂直承载力时，不计冻胀、膨胀深度范围的桩侧摩阻力。任何情况下，桩端进入冻深线或膨胀土地基的大气影响线以下的深度，不得小于 4 倍桩径或 1 倍扩大端直径。

三、为消除桩基受冻胀或膨胀的危害，宜在冻胀或膨胀深度范围沿桩周以及承台作隔冻、隔胀处理。

四、当桩身和承台未作隔冻、隔胀处理时，应验算冻胀、膨胀力作用下，桩基的抗拔稳定性和桩身的抗拉强度。

第 2-1-5 条 湿陷性黄土地基灌注桩基础宜按下列原则设计：

一、对于自重湿陷性黄土地基，灌注桩一般宜采用沉管法或采用清底较好的钻、挖孔法施工。

二、考虑到湿陷对于垂直承载力的影响，在确定基桩轴向受压承载力时，一般情况下，除不计自重湿陷性土层范围的桩周正摩阻外，尚应考虑自重湿陷引起的负摩阻；非自重湿陷性土层的摩阻力一般取浸水饱和状态下的数值。

三、承受长期水平力或经常出现水平力的桩基，其水平承载力和地基土水平抗力系数，一般按土在饱和状态下确定。承受瞬时水平力（如地震力）时，则按浸水可能性

取值。

第 2-1-6 条 灌注桩基础的抗震设计宜按下列原则进行：

一、桩承台除使用要求可露出地面外，应埋入地下成为低桩承台。承台混凝土宜尽量采用原槽浇灌。如采用支模浇灌，侧面回填土应采用素土或灰土分层夯实。当水平力大且近承台底面的土层很松散时，可考虑采取夯辗加密或作碎石垫层等措施增加基底抗力。当承台下土层有自重固结沉降（新填土的固结和降低地下水引起土的固结沉降等）、自重湿陷、震陷（振陷）和液化可能时，则不考虑承台底土抗力的作用。

二、当近承台底为可液化土层时，基桩应穿过可液化土层嵌入稳定土层，其深度一般不小于 $4.0/\alpha$ （ α 根据第 2-3-14 条确定），或不小于 7~14 倍桩径（硬土取低值，软土取高值）。如果液化层以上的非液化层厚度不小于 $4.0/\alpha$ ，足以稳固桩身时，则桩端进入稳定土层的深度，对于粘性土和砂土可减至 2~3 倍桩径，对于碎石类土可减至 1~2 倍桩径。验算桩基的抗震能力时，液化层的摩阻力和水平抗力系数均按零考虑。

三、对建于可能因地震引起上部土层滑动地段的桩基，应考虑滑动体对桩产生的水平力，按抗滑桩的要求进行设计。

四、作用于桩基的水平地震力，一般只考虑地面以上建筑物重量产生的水平惯性力，按现行《工业与民用建筑抗震设计规范》**TJ 11—78** 进行计算；当考虑承台与基桩协同工作和土的弹性抗力作用，进行桩基抗震计算时，应考

考虑承台底面以上重量产生的水平惯性力。

第二节 构造

(I) 桩身

第 2-2-1 条 桩身配筋应根据外力的性质与大小，以及工程地质等条件确定。

一、受水平力的桩基

1. 当单桩桩顶水平力满足下列公式 (2-2-1-1) 时，桩身可不配抗弯钢筋。对于高大和较重要的建筑物，宜配置桩顶连接构造筋，伸入桩身 $3\sim 5d$ 。

$$H_1 \leq \beta d^2 \sqrt{1.5d^2 + 0.5d} \left[1 + \frac{0.9N_1}{\gamma R_1 A} \right] \quad (2-2-1-1)$$

式中 H_1 ——单桩桩顶水平力 (吨)；

β ——综合系数，按表 2-2-1 采用；

d ——桩身设计直径 (钻头或沉管外直径，下同) (米)；

N_1 ——单桩桩顶轴向压力 (吨)；

R_1 ——混凝土的抗拉设计强度 (吨/米²)；

γ ——桩身截面抵抗矩的塑性系数，圆截面 $\gamma=2$ ；

A ——桩身截面积；按设计桩径计算 (米²)。

2. 当单桩桩顶水平力不满足公式 (2-2-1-1) 时，应按计算配筋。对于受水平力的一般建筑物和受水平力较小 (如七度和七度以下的水平地震力，下同) 的高大建筑物的低桩台桩基，当桩的设计直径为 $30\sim 60$ 厘米时，可按配筋率 $0.40\sim 0.65\%$ (小桩径取高值，大桩径取低值) 配筋。

3. 在地基不致产生整体滑移的情况下，基桩的配筋长

综合系数 β

表 2-2-1

| 上部土层的类别 [承台下 2 (d+1) (米) 深度范围内] | 桩身混凝土标号 | |
|------------------------------------|-----------|-----------|
| | 150 号 | 200 号 |
| 淤泥, 淤泥质土, 饱和湿陷性黄土 | 2. 5~2. 9 | 3. 1~3. 5 |
| 流塑、软塑状一般粘性土, 松散粉细砂, 松散填土 | 2. 9~3. 5 | 3. 5~4. 1 |
| 可塑状一般粘性土, 湿陷性黄土, 稍密砂土, 稍密, 中密填土 | 3. 5~4. 2 | 4. 1~5. 0 |
| 硬塑、坚硬状一般粘性土, 湿陷性黄土, 中密中粗砂, 密实老填土 | 4. 2~5. 1 | 5. 0~6. 2 |
| 中密、密实砾砂, 碎石类土 | 5. 1~6. 4 | 6. 2~7. 7 |

注: 当桩基受长期或经常出现的水平荷载时, 则按表中土层类别降低一类取值。

度一般采用 $4.0/\alpha$, 当桩长小于 $4.0/\alpha$ 时, 应通长配筋。对于高桩台桩基或承台底为可液化土层时, 桩身配筋长度应加长, 加长部分的长度相当于桩露出地面的长度或液化层厚度。

二、轴向受压桩: 当单桩桩顶轴向压力满足下列公式 (2-2-1-2) 时可不配抗压钢筋。

$$N_1 \leq 0.48R_a d^2 \quad (2-2-1-2)$$

式中 R_a ——混凝土的轴心抗压设计强度 (吨/米²);

d ——桩身设计直径 (米)。

端承桩的抗压钢筋, 应沿桩身通长配置。

三、抗拔桩: 专用抗拔桩一般应通长配筋。因地震力、冻胀或膨胀力作用而受拔力的桩, 按计算配通长或局部长度的抗拉筋。

第 2-2-2 条 桩身混凝土、钢筋和混凝土保护层厚度

应符合下列要求：

一、混凝土标号，不得低于 150 号，水下灌注混凝土时，不得低于 200 号。

二、桩身配筋时，对于受水平力的桩，主筋不宜少于 $6\phi 10$ ；对于轴向承压或抗拔桩，主筋不宜少于 $4\phi 10$ 。纵向主筋应沿桩身周边均匀布置，并尽量减少钢筋接头。水下灌注混凝土桩宜采用光圆钢筋。

三、箍筋采用 $\phi 6\sim 8@200\sim 300$ 毫米，宜采用螺旋或焊接环式箍筋。抗水平力桩，桩顶箍筋应适当加密。当钢筋笼长度超过 4 米时，为加强其刚度和整体性，可每隔 2 米左右设一道焊接加劲箍筋。

四、主筋的混凝土保护层厚度不应小于 3 厘米，水下灌注混凝土桩，保护层厚度不得小于 5 厘米。

(I) 承 台

第 2-2-3 条 桩承台的形式与基本尺寸一般应符合下列要求：

一、独立柱桩基和满堂桩基的承台，根据上部结构要求和布桩形式，可采用三角形、矩形、多边形、圆形和环形的现浇承台；其尺寸根据上部结构要求和计算确定，但其厚度不宜小于 30 厘米，周边与边桩的净距不宜小于 0.5 倍桩径。

二、条形基础的承台，可根据受力情况、地质情况和施工条件，采用如下形式和构造：

1. 现浇连续承台梁，其构造可参照图 2-2-3-1。
2. 现浇桩帽与预制梁相组合的承台梁，其构造可参照

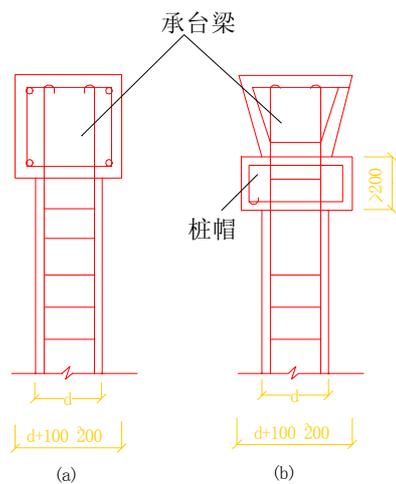
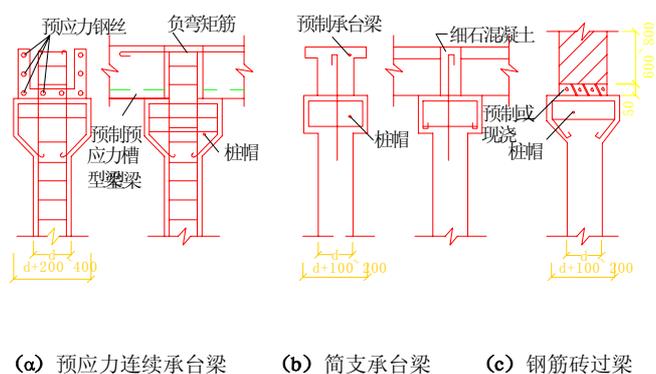


图 2-3-3-1 现浇连续承台梁



(a) 预应力连续承台梁 (b) 简支承台梁 (c) 钢筋砖过梁

图 2-2-3-2 现浇预制组合承台梁

图 2-2-3-2。当用于抗震或其它受水平力较大的桩基时，须加强桩与预制梁的连接；为节省钢材，预制承台梁宜作成预应力连续梁 [如图 2-2-3-2 (α)]；1~3 层砖混结构房屋可采用钢筋砖过梁 [如图 2-2-3-2 (c)]。

第 2-2-4 条 承台混凝土与配筋应符合下列要求：

- 一、混凝土标号宜采用 150~200 号。
- 二、对于非预应力绑扎骨架钢筋混凝土承台梁，纵向钢筋不宜小于 $\varnothing 10$ ，箍筋不小于 $\varnothing 6$ ，板式承台双向配筋不宜小于 $\varnothing 8@200$ 。
- 三、承台钢筋的混凝土保护层厚度，一般不小于 5 厘米。

第 2-2-5 条 桩顶与承台的连接应符合下列要求：

- 一、桩顶嵌入承台的长度一般不小于 5 厘米，当有混凝土垫层时亦不小于 5 厘米。
- 二、当桩身配筋时，主筋伸入承台的长度一般不小于 $30d_g$ (d_g ——钢筋直径)。

当桩顶构造符合上述要求时，除单桩基础和垂直于外力作用平面的单排桩基础外，可按桩顶为固接进行计算。

第 2-2-6 条 属于下列情况之一的抗震桩基，应设置承台拉梁：

- 一、上部土层属可液化土层或土质很不均匀的地基上的框架柱独立桩基；
- 二、多层框架柱采用独立的单桩或双桩基础时；
- 三、上部土层属可液化土层的排架结构柱独立桩基。

对于上述前两种情况，应设置纵横向拉梁；对于后一种情况，应沿厂房纵向设置拉梁，当有承墙梁时，可将承

墙梁与承台连接，兼起拉梁作用。

第 2-2-7 条 为消除或减少冻胀对桩承台的危害，可采取以下处理措施：

一、在冻深较大（标准冻深大于 1 米）地区，当承台下为弱冻胀、冻胀性土时，承台下应换填粗砂、中砂、炉渣等松散材料，厚度不宜小于 30 厘米。当承台下为强冻胀性土时，承台下应预留 10~15 厘米空隙；或换填粗砂、中砂、炉渣等松散材料、并预留 5~10 厘米空隙。承台四周应填以粗砂、中砂、炉渣等松散材料，或在承台侧表面涂沥青、包油毡作隔离层。处理构造参见图 2-2-7。

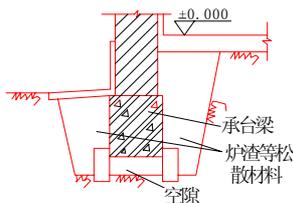


图 2-2-7 承台防冻胀处理

二、在冻深较小（标准冻深等于和小于 1 米）地区，承台底位于冻深线以上时，承台下宜换填粗砂、中砂、炉渣等松散材料，厚度一般不小于 10 厘米。

对于膨胀土地基，可根据土的胀缩性、胀缩等级，采用上述类似措施进行承台的防膨胀处理。

第三节 桩基计算

(1) 桩顶荷载计算

第 2-3-1 条 对于一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物的低桩台（承台顶面位于地面以下，下同）桩基，按下列公式计算单桩桩顶荷载：

垂直力:

$$\text{中心荷载下: } N_i = \frac{N+G}{n} \quad (2-3-1-1)$$

$$\text{偏心荷载下: } N_i = \frac{N+G}{n} \pm \frac{M_x y_i}{\sum_1^n y_j^2} \pm \frac{M_y x_i}{\sum_1^n y_j^2} \quad (2-3-1-2)$$

$$\text{水平力: } H_1 = \frac{H}{n} \quad (2-3-1-3)$$

式中 N —— 作用于桩基承台顶面上的垂直荷载 (吨);

G —— 桩基承台自重和承台上土重 (吨), 当按第 2-3-6 条之三计算时, 则不计此值;

N_i —— 作用于第 i 桩桩顶的轴向力 (吨);

n —— 桩数;

M_x 、 M_y —— 作用于桩基上的外力对通过桩群形心的 X 、 Y 轴的外力矩 (吨·米);

x_i 、 y_i —— 第 i 桩至通过桩群形心的 Y 、 X 轴的距离 (米);

$\sum x_j^2$ 、 $\sum y_j^2$ —— 各桩至通过桩群形心的 Y 、 X 轴的距离的平方和 (米²);

H —— 作用于桩基承台底面的水平力 (吨)。对于水平地震力, 按现行《工业与民用建筑抗震设计规范》计算。

第 2-3-2 条 属于下列情况之一的桩基, 计算各基桩桩顶荷载和桩身内力时, 可考虑承台 (包括地下墙体) 与基桩协同工作和土的弹性抗力作用 (计算方法和公式详见附录二)。

一、受 8 度和 8 度以上水平地震力和其它较大水平力

的高大建筑物，当其桩基承台刚度较大或由于上部结构与承台的协同作用能增强承台的刚度时；

二、受水平力的高桩台桩基（包括承台底有液化土层的情况）。

（Ⅱ）桩基垂直承载力及其验算

第 2-3-3 条 单桩的轴向受压容许承载力，应根据单桩垂直静载试验所确定的极限荷载按下式计算：

$$P_a = \frac{P_u}{K_y} \quad (2-3-3)$$

式中 P_a ——单桩轴向受压容许承载力（吨）；

P_u ——单桩轴向受压极限荷载（吨）；

K_y ——安全系数，一般取 2。

当未能进行垂直静载试验时，可参考附近同类型工程地质条件的静载试验资料或按第 2-3-4 条规定的经验公式计算确定。

抗拔桩的轴向受拉容许承载力，一般应根据桩的抗拔试验确定，当未能进行抗拔试验时，可按第 2-3-8 条规定的经验公式计算确定。

除根据地基土的强度和变形条件，通过试验或经验计算确定单桩轴向容许承载力外，尚应验算桩身强度。

第 2-3-4 条 根据经验公式计算单桩轴向受压容许承载力时，需考虑桩径、入土深度、桩型、施工方法和地基土层性质等因素，可按下列公式计算：

$$P_a = \pi d_1 \sum L_i f_i + AR_j \quad (2-3-4)$$

式中 d_1 ——成桩直径（米），根据施工经验确定，当缺乏

经验时，可按下列方法确定：

对于钻、挖、冲孔灌注桩，按钻头直径增加下列数值：

- 螺旋钻 1~2 厘米
- 潜水钻 3~5 厘米
- 机动洛阳铲 2~3 厘米
- 冲击钻 4~8 厘米

对于沉管灌注桩，一般取 $d_1 = d_e$ (d_e ——套管外直径)，一次复打时取 $d_1 = \sqrt{2} d_e$ 。

地下水位以上钻、挖、冲孔灌注桩容许摩阻力 f (吨/米²)

表 2-3-4-1

| 土 的 名 称 | 土 的 状 态 | f |
|-----------|---------|---------|
| 炉灰填土 | 已完成自重固结 | 0.8~1.3 |
| 房碴填土、亚粘填土 | 已完成自重固结 | 2.0~3.0 |
| 粘土、亚粘土 | 软 塑 | 2.0~3.0 |
| | 可 塑 | 3.0~3.5 |
| | 硬 塑 | 3.5~4.0 |
| 轻亚粘土 | 软 塑 | 2.2~3.0 |
| | 可 塑 | 3.0~3.5 |
| | 硬 塑 | 3.5~4.5 |
| 粉 细 砂 | 稍 密 | 2.0~3.0 |
| | 中 密 | 3.0~4.0 |
| | 密 实 | 4.0~6.0 |

注：1. 对地下水位以下钻、挖、冲孔灌注桩，可根据成孔工艺对桩周土的影响，参照本表采用。

2. 淤泥、淤泥质土可参考表 2-3-4-2 采用。

对于流塑、软塑状粘性土应再乘以 0.7~0.9 的系数；

L_i ——桩周第 i 层土的厚度 (米)；

f_i ——桩周第 i 层土的容许摩阻力(吨/米²),按表 2-3-4-1、表 2-3-4-2 或第 2-3-5 条采用；

沉管灌注桩容许摩阻力 f (吨 / 米²) 表 2-3-4-2

| 土 的 名 称 | 土 的 状 态 | f |
|-----------|---------|-----------|
| 房碴填土、亚粘填土 | 已完成自重固结 | 2. 0~3. 0 |
| 淤 泥 | | 0. 5~0. 8 |
| 淤泥质土 | | 1. 0~1. 5 |
| 粘土、亚粘土 | 软 塑 | 1. 5~2. 0 |
| | 可 塑 | 2. 0~3. 5 |
| | 硬 塑 | 3. 5~4. 0 |
| 轻亚粘土 | 软 塑 | 1. 5~2. 5 |
| | 可 塑 | 2. 5~3. 5 |
| | 硬 塑 | 3. 5~4. 0 |
| 粉 细 砂 | 稍 密 | 1. 5~2. 5 |
| | 中 密 | 3. 5~4. 0 |
| 中 砂 | 中 密 | 3. 5~4. 0 |
| | 密 实 | 4. 0~5. 0 |

A ——桩身横截面面积(米²),机扩桩按其水平投影面积计算；

R_j ——土的容许端承力(吨/米²),钻、挖、冲孔灌注桩按表2-3-4-3、表 2-3-4-4 或按第 2-3-5

条采用；沉管灌注桩按表 2-3-4-5 采用或按第 2-3-5 条采用。

地下水位以上钻、挖、冲孔灌注桩容许端承力 R_j (吨 / 米³)

表 2-3-4-3

| 土的名称 | 土的状态 | 桩入土深度 | | |
|-------|------------------------|-------|-----|-----|
| | | 5米 | 10米 | 15米 |
| 一般粘性土 | $0 < I_L \leq 0.25$ | 30 | 45 | 60 |
| | $0.25 < I_L \leq 0.75$ | 26 | 41 | 57 |
| | $0.75 < I_L \leq 1.0$ | 24 | 39 | 55 |
| 粉细砂 | 中密 | 40 | 70 | 100 |
| | 密实 | 60 | 90 | 125 |
| 中砂、粗砂 | 中密 | 60 | 110 | 160 |
| | 密实 | 85 | 140 | 190 |

注：表列值适用于孔底虚土 ≤ 10 厘米。

地下水位以下钻、挖、冲孔灌注桩容许端承力 R_j (吨 / 米²)

表 2-3-4-4

| 土的名称 | 土的状态 | 桩入土深度 | | |
|-------|------|-------|-----|-----|
| | | 5米 | 10米 | 15米 |
| 一般粘性土 | | 10 | 16 | 22 |
| 粉细砂 | 中密 | 15 | 30 | 40 |
| | 密实 | 20 | 35 | 50 |
| 中砂、粗砂 | 中密 | 25 | 45 | 65 |
| | 密实 | 35 | 55 | 80 |

注：表列值适用于孔底回淤土 ≤ 30 厘米。

沉管灌注桩容许端承力 R_1 (吨 / 米²) 表 2-3-4-5

| 土的名称 | 土的状态 | 桩入土深度 | | |
|----------------------|---------------------|----------|-----|-----|
| | | 5米 | 10米 | 15米 |
| 淤泥质土 | | 10~20 | | |
| 一般粘性土 | 0.40 < I_L ≤ 0.60 | 50 | 80 | 100 |
| | 0.25 < I_L ≤ 0.40 | 80 | 150 | 180 |
| | 0 < I_L ≤ 0.25 | 150 | 200 | 240 |
| 粗砂 细砂 中砂 粗砂 | 中密、密实 | 90 | 110 | 120 |
| | | 130 | 160 | 180 |
| | | 165 | 210 | 245 |
| | | 280 | 390 | 450 |
| 卵石 | 中密、密实 | 300 | 400 | 500 |
| 软质岩石 | 微风化 | 500~750 | | |
| 硬质岩石 | | 750~1000 | | |

第 2-3-5 条 在积累了一定经验（包括与桩的静载试验对比）的地区，可采用静力触探和标准贯入度试验确定桩的轴向承载力参数。

第 2-3-6 条 承压桩基应按下列规定验算桩基的垂直承载力：

一、当桩基受中心荷载时，按下列公式验算单桩的轴向受压容许承载力：

$$N_1 \leq P_a \quad (2-3-6-1)$$

二、当桩基受偏心荷载时，单桩的轴向受压容许承载力除满足公式 (2-3-6-1) 外，尚应按下列公式验算：

$$\text{非地震荷载下} \quad N_{\max} \leq 1.2P_a \quad (2-3-6-2)$$

$$\text{地震荷载下} \quad N_{\max} \leq 1.5P_a \quad (2-3-6-3)$$

公式 (2-3-6-2)、(2-3-6-3) 中:

N_{\max} ——单桩桩顶最大轴向压力,按第 2-3-1 条或第 2-3-2 条确定。

三、对于摩擦桩低桩台基础,当承台下土体不致产生自重固结沉降(如新填土固结、降低地下水引起固结)或自重湿陷、振(震)陷时,可考虑由承台底地基土承受承台和承台上土重。

四、对于桩距小于 $6d$,排列超过 2 排,桩数超过 9 根的摩擦桩群桩基础,除按公式 (2-3-6-1)、(2-3-6-2)、(2-3-6-3) 验算基桩的轴向承载力外,尚应将群桩基础视为假想实体深基础,验算其地基承载力和沉降。

五、对于桩距小于 $6d$ 的桩基,当主要持力层范围内存在软弱下卧层时,应按假想实体深基础验算该下卧层的承载力。

第 2-3-7 条 当桩周土体因自重固结、自重湿陷(黄土)或受地面大面积堆载等影响而产生大于桩的沉降时,应考虑由此而引起的桩侧负摩擦力对桩基受压承载力的影响。

第 2-3-8 条 对于承受拔力的桩基,应按下列公式验算基桩的抗拔稳定性:

$$N'_1 \leq \lambda \pi d_1 \sum L_i f_i + 0.9G_s \quad (2-3-8)$$

式中 N'_1 ——单桩桩顶的轴向拉力(吨);

λ ——抗拔容许摩阻力与受压容许摩阻力的比例系

数,根据建筑物重要性、荷载性质、桩的施工质量、桩的入土深度和设计参数的准确程度等,采用 0.4~0.7;

G_s ——按设计桩径确定的桩身自重(吨),地下水位以下取浮容重。

第 2-3-9 条 对于季节性冻土上的轻型建筑物的短桩基础,应按下列公式验算基桩的抗拔稳定性:

$$\tau_t F_t \leq \lambda \pi d_1 \sum f_i L_i + 0.9 (G_s + N_0) \quad (2-3-9-1)$$

式中 τ_t ——季节性冻土层中,桩周土的冻胀切力(吨/米²),采用:

粘性土:弱冻胀 3~5 吨/米²;
冻胀 5~8 吨/米²;
强冻胀 8~12 吨/米²;

F_t ——季节性冻土层中,桩的侧表面积(米²),

$$F_t = \pi d_1 m_t Z_0 \quad (2-3-9-2)$$

式中的采暖对冻深的影响系数 m_t 和标准冻深 Z_0 ,以及土的冻胀分类方法均按《工业与民用建筑地基基础设计规范》TJ 7—74 中第 23、25、26 条执行;

N_0 ——单桩桩顶的轴向恒载(吨)。

(Ⅲ) 桩基水平承载力及其验算

第 2-3-10 条 对于受水平力的桩基,当其地基不致产生滑移,且基桩的埋设深度和构造符合第 2-2-1 条、第 2-2-2 条规定时,桩基的水平承载力可根据具体情况分别按第 2-3-11~第 2-3-13 条进行验算。

第 2-3-11 条 对于受水平力的一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物的低桩台桩基，当根据参考资料一进行单桩水平静载试验时，可按下列规定验算桩基中单桩的水平承载力。

当桩顶只受水平力时：

$$H_1 \leq H_\alpha \quad (2-3-11-1)$$

当桩顶同时受水平力和轴向压力时：

$$H_1 \leq \frac{1}{\eta} H_\alpha \left(1 + \frac{0.9N_1}{\gamma R_f A_n} \right) \quad (2-3-11-2)$$

当桩顶同时受水平力和轴向拉力时：

$$H_1 \leq H_\alpha \left(1 - \frac{N_1}{\gamma R_f A_n} \right) \quad (2-3-11-3)$$

(2-3-11-1) ~ (2-3-11-3) 式中：

η ——偏心距增大系数，

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{KN_1}{10\alpha_e E_n I^2}} \quad (2-3-11-4)$$

γ ——截面抵抗矩的塑性系数，圆截面 $\gamma=2$ ；

A_n ——桩身换算截面面积 (米²)，

$$A_n = \frac{\pi d^2}{4} [1 + (n-1) \mu_g] \quad (2-3-11-5)$$

R_f ——混凝土的抗裂设计强度 (吨/米²)；

H_α ——试桩在桩顶自由且无轴向力情况下的单桩容许水平承载力 (吨)，按下列公式之一确定；当桩身配筋率超过 0.65% 时，应按 (2-3-11-7) 式确定：

$$H_\alpha = \alpha H_{\alpha r} \quad (2-3-11-6)$$

$$H_\alpha = \frac{\alpha}{K_H} H_u \quad (2-3-11-7)$$

(2-3-11-4) ~ (2-3-11-7) 式中;

l_c ——基桩的计算长度 (米), 按附录三确定;

E_k ——混凝土的弹性模量 (吨/米²)

I ——桩身截面的惯性矩 (米²)

K ——强度设计安全系数, 采用 **K1. 55**; 地震荷载下按第 2-3-15 条规定采用;

α_e ——与偏心距有关的系数,

$$\alpha_e = \frac{0.1}{0.3 + \frac{e_0}{d}}; +0.143$$

e_0 ——偏心距 (米), $e_0 = \frac{M}{N_1}$,

$$M = \frac{H_1 v_M}{\alpha}$$

v_M ——桩顶 (身) 最大弯矩系数;

n ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值;

H_c, H_u ——分别为试桩的水平临界荷载和水平极限荷载 (吨);

α_k ——荷载性质系数, 对于受水平地震力的桩基, 取 $\alpha_k = 1$; 对受长期或经常出现的水平力的桩基 $\alpha_k = 0.8$;

K_H ——单桩水平承载力的安全系数, 一般取 **1.4**。

当使用上对桩基的水平位移有特殊限制, 或上部土层为软土, 或桩顶同时受较大轴向压力时, 其单桩容许水平承载力除满足 (2-3-11-1) ~ (2-3-11-3) 式外, 尚应控制桩顶水平位移在容许范围之内。如利用试桩结果预估工程桩

的桩顶位移时，应乘以位移换算系数 $m_x = \frac{\nu_x(\text{固接})}{\nu_x(\text{铰接})}$ ； ν_x 按表 2-3-11 采用。对于受长期或经常出现的水平荷载的桩基，应将水平位移试验测定值乘以大于 1 的系数。

桩顶(身)最大弯矩系数 ν_M 和桩顶水平位移系数 ν_x

表 2-3-11

| 柱顶约束情况 | 桩的换算埋深 (ah) | ν_M | ν_x |
|--------|----------------|---------|---------|
| 铰接(自由) | 4.0 | 0.768 | 2.441 |
| | 3.5 | 0.750 | 2.502 |
| | 3.0 | 0.703 | 2.727 |
| | 2.8 | 0.675 | 2.905 |
| | 2.6 | 0.639 | 3.163 |
| | 2.4 | 0.601 | 3.526 |
| 固接 | 4.0 | 0.923 | 0.940 |
| | 3.5 | 0.934 | 0.970 |
| | 3.0 | 0.967 | 1.028 |
| | 2.8 | 0.990 | 1.055 |
| | 2.6 | 1.018 | 1.079 |
| | 2.4 | 1.045 | 1.095 |

注：铰接(自由)的 ν_M 系桩身的最大弯矩系数，固接的 ν_M 系桩顶的最大弯矩系数。

第 2-3-12 条 对于受水平力的一般建筑和受水平力较小的高大建筑的低桩台桩基，当桩身径 $d = 30 \sim 60$ 厘米，配筋率为 0.40~0.65%时，可按下列公式验算桩基中单桩的水平承载力。

一、受水平地震力的桩基：

当桩顶只受水平力时：

$$H_1 \leq \frac{\alpha \gamma R_t W_0}{\xi_M \eta \nu_M} (1.25 + 22\mu_g) \quad (2-3-12-1)$$

当桩顶同时受水平力和轴向压力时：

$$H_1 \leq \frac{\alpha \gamma R_t W_0}{\xi_M \eta \nu_M} (1.25 + 22\mu_g) \left[1 + \frac{0.9N_1}{\gamma R_t A_n} \right] \quad (2-3-12-2)$$

当桩顶同时受水平力和轴向拉力时：

$$H_1 \leq \frac{\alpha \gamma R_t W_0}{\xi_M \eta \nu_M} (1.25 + 22\mu_g) \left[1 - \frac{N'_1}{\gamma R_t A_n} \right] \quad (2-3-12-3)$$

二、受长期或经常出现的水平力的桩基，将公式(2-3-12-1) ~ (2-3-12-3)的右边乘以0.8进行验算。

三、当使用上对桩基的水平位移有特殊限制或上部土层为软土，或桩顶同时受较大轴向压力时，单桩的水平承载力除按公式(2-3-12-1) ~ (2-3-12-3)验算外，尚应按下列公式验算：

$$H_1 \leq \frac{\alpha^3 EI}{\nu_z} x_{0\alpha} \quad (2-3-12-4)$$

公式(2-3-12-1) ~ (2-3-12-4)中：

α ——桩身变形系数，按第2-3-14条计算；

ξ_M ——桩身弯矩调整系数，桩顶固接时， $\xi_M=0.9$ ，
桩顶自由或铰接时 $\xi_M=1$ ；

EI ——桩身抗弯刚度：

对于素混凝土桩， $EI=E_h I$ ；

对于钢筋混凝土桩， $EI=0.85E_h I_0$ ；

I_0 ——桩身换算截面惯性矩， $I_0=W_0 d / 2$ ；

W_0 ——桩身换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩：

$$W_0 = \frac{\pi d}{32} [d^2 + 2(n-1)\mu_g d_0^2]$$

d_0 ——纵向钢筋圆环的直径；

$x_{0\alpha}$ ——桩顶容许水平位移。

当桩身配筋率超过 0.7% 时,应按第 2-3-13 条规定验算桩基的水平承载力。

第 2-3-13 条 对于受较大水平力的高大建筑的桩基和受水平力的高桩台桩基,其桩顶荷载和桩身内力按第 2-3-2 条规定计算;基桩水平承载力根据桩身的受力特征(受弯、偏心受压、偏心受拉),按有关钢筋混凝土圆截面构件的强度计算公式进行验算,并注意其承台水平位移计算值不应超过容许范围。

第 2-3-14 条 桩身变形系数 α 按下列公式计算:

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (2-3-14)$$

地基土水平抗力系数的比例系数 m 和竖向抗力系数

的比例系数 m_0

表 2-3-14

| 地 基 土 类 别 | $m、m_0$ (吨/米 ⁴) | 相应桩顶水平位移 (毫米) |
|--|--------------------------------|------------------|
| 淤泥,淤泥质土,饱和湿陷性黄土 | 250~600 | 6~12 |
| 流塑 ($I_L > 1$)、软塑 ($0.75 < I_L \leq 1$) 状一般粘性土,松散粉细砂,松散填土 | 600~1400 | 4~8 |
| 可塑 ($0.25 < I_L \leq 0.75$) 状一般粘性土,湿陷性黄土,稍密、中密填土 | 1400~3500 | 3~6 |
| 硬塑 ($0 < I_L \leq 0.25$)、坚硬 ($I_L \leq 0$) 状一般粘性土,湿陷性黄土,中密的中粗砂,密实老填土 | 3500~10000 | 2~5 |
| 中密、密实的砾砂,碎石类土 | 10000~30000 | 1.5~3 |

注: 1. 当桩顶水平位移大于表列数值或当桩身配筋率较高时, m 值应当降低;

2. 当水平力为长期或经常出现的荷载时,应将表列数值乘以 0.4 降低采用。

式中 m ——地基土水平抗力系数沿深度变化的比例系数 (吨/米⁴),当无试验资料时,可按表 2-3-14 采用;

b_0 ——桩身的计算宽度 (米),
当 $d \leq 1$ 米时, $b_0 = 0.9(1.5d + 0.5)$;
当 $d > 1$ 米时, $b_0 = 0.9(d + 1)$ 。

(IV) 桩身强度和抗裂性验算

第 2-3-15 条 桩身强度和承台强度的设计安全系数,按现行《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 采用,验算抗震强度时,设计安全系数采用不考虑地震荷载时数值的 80%。

第 2-3-16 条 验算桩身强度时,其桩身计算直径采用设计直径。

第 2-3-17 条 验算桩身的轴心受压强度时,一般不考虑桩身纵向弯曲的影响;对于高桩台桩基,或桩台底为液化土层的情况,则应考虑桩身纵向弯曲的影响;其纵向弯曲系数 φ ,应根据桩身计算长度 l_0 和设计直径 d 确定。桩身计算长度与桩顶约束情况、桩露出地面的长度、桩的入土长度、桩侧和桩底土质有关。纵向弯曲系数和计算长度的确定可参考附录三。

第 2-3-18 条 当按钢筋混凝土的极限状态或破坏阶段验算水平力和弯矩作用下桩顶为固接的桩身强度时,应考虑实际构造与假定之间的差异以及内力重分布的影响,将所算得的桩顶固端弯矩乘以 0.7~0.8 (当固端弯矩大于桩身最大弯矩时) 进行调整,然后验算强度。

第 2-3-19 条 对于受长期或经常出现的水平力或拔力的建筑物桩基，应验算其桩身的裂缝宽度，其最大裂缝宽度不得超过 0.2 毫米。

(V) 桩承台的内力计算与强度验算

第 2-3-20 条 独立柱桩基承台板的内力按下列公式计算。

一、双向正交直线配筋承台板 [计算图式见图 2-3-20 (a)]:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \sum \eta_{xi} N_i y_i \\ M_y &= \sum \eta_{yi} N_i x_i \end{aligned} \right\} \quad (2-3-20-1)$$

式中 η_{xi} 、 η_{yi} ——分别为 i 桩对通过柱中心的 X 、 Y 轴弯矩的分配系数；

$$\left. \begin{aligned} \eta_{xi} &= \frac{y_i}{x_i + y_i} \\ \eta_{yi} &= \frac{x_i}{x_i + y_i} \end{aligned} \right\} \quad (2-3-20-2)$$

N_i ——扣除承台自重和承台上土重后 i 桩桩顶的轴向力(吨)，按公式 (2-3-1-1) 和 (2-3-1-2) 或附录二计算确定。

二、单向梁式配筋(配筋宽度一般为桩的直径)三角形三桩承台 [计算图式见图 2-3-20 (b)]:

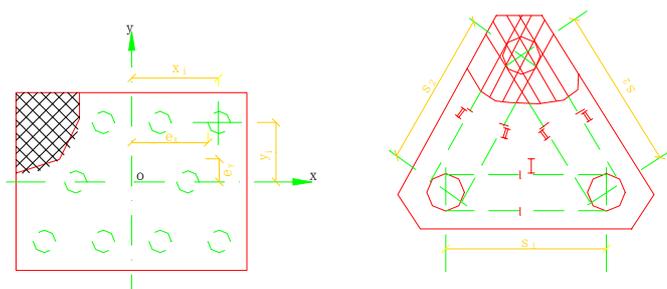
$$\left. \begin{aligned} M_x &= \eta_1 N_{1max} s_1 \\ M_n &= \eta_n N_{1max} s_2 \end{aligned} \right\} \quad (2-3-20-3)$$

式中 M_1 、 M_n ——截面 I-I、II-II 的弯矩(吨·米)；
 η_1 、 η_n ——偏心一侧的桩顶反力对 I-I、II-II

截面弯矩的分配系数：

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= \frac{s_1}{2(s_1+s_2)} \\ \eta_n &= \frac{s_2}{2(s_1+s_2)} \end{aligned} \right\} \quad (2-3-20-4)$$

式中 s_1 、 s_2 ——桩的中心距（米）。



(a) 板式配筋矩形承台 (b) 梁式配筋三桩承台

图 2-3-20 独立柱桩基承台

第 2-3-21 条 墙下条形桩基承台梁的内力计算，应考虑承台梁与上部墙体的协同作用，可参照附录四计算。

第 2-3-22 条 对于承台板，应按现行《钢筋混凝土结构设计规范》的有关规定，分别验算上部结构构件底部和桩顶对承台板的冲切强度，确定板的设计厚度，验算承台板的抗弯强度，确定板的配筋。

第 2-3-23 条 对于承台梁，应按现行《钢筋混凝土结构设计规范》和《砖石结构设计规范》的有关规定验算其抗弯、抗剪、抗冲切强度，以及桩顶承台梁上砌体的承压强度，确定承台梁的截面高度和配筋。

第三章 灌注桩基础施工

第一节 施工准备

第 3-1-1 条 灌注桩基础施工前应具备下列资料：

- 一、建筑场地工程地质资料；
- 二、基础工程的施工图（包括同一单位工程中的灌注桩和非灌注桩基础）；
- 三、建筑场地和邻近区域内的高压电缆、电话线、地下管线（管道、电缆等）、地下构筑物以及危险房屋、精密仪器车间的调查资料；
- 四、主要施工机械及其配套设备的技术性能；
- 五、桩基工程的施工技术措施；
- 六、有关的荷载试验资料。

第 3-1-2 条 桩基工程施工技术措施的内容有：

- 一、施工平面图：标明桩位、编号、施工顺序、水电路线和临时设施位置；采用制备泥浆时，应标明泥浆制备设施及其循环系统；
- 二、确定成孔机械、配套设备，以及合理施工工艺的有关资料；
- 三、施工作业计划和劳动组织规划；
- 四、机械设备、备（配）件、工具（包括质量检查工具）、材料供应计划；
- 五、主要施工机械的试运转、试成孔、试灌注计划；

六、保证工程质量、安全生产和季节性（冬季、雨季）施工的技术措施；

七、其它。

第 3-1-3 条 施工前应做好场地的平整工作，对不利于施工机械运行的松软场地应进行适当处理。如在雨季施工，必须采取有效的排水措施。

第 3-1-4 条 施工前应复核测量基线、水准基点及桩位。桩基轴线的定位点及施工地区附近所设的水准点应设置在不受桩基施工影响处。

第 3-1-5 条 施工前必须试成孔，数量不得少于两个，以便核对地质资料，检验所选的设备、施工工艺以及技术要求是否适宜；如出现缩颈、坍孔、回淤、贯入度（或贯入速度）不能满足设计要求时，应拟定补救技术措施，或重新考虑施工工艺。

第 3-1-6 条 在建筑物旧址或杂填土地区施工时，应预先进行钎探，并将探明在桩位处的浅埋旧基础、石块、废铁等障碍物挖除，或采取其它处理措施。

第 3-1-7 条 基础施工用的临时设施，如供水、供电、道路、排水、暂设房屋、泥浆池等，必须在开工前准备就绪。

第二节 灌注桩的施工

（I） 一般规定

第 3-2-1 条 成孔设备就位后，必须平正、稳固，确保在施工中不发生倾斜、移动。为准确控制钻孔深度，应在桩架或桩管上作出控制深度的标尺，以便在施工中进行观测、记录。

第 3-2-2 条 成孔的控制深度应符合下列要求：

一、对于摩擦桩，必须保证设计桩长，当采用沉管法成孔时，桩管入土深度的控制以标高为主，并以贯入度（或贯入速度）为辅；

二、对于端承桩，当采用钻、挖、冲成孔时，必须保证桩孔进入硬土层达到设计要求的深度，并将孔底清理干净；当采用沉管法成孔时，桩管入土深度的控制以贯入度（或贯入速度）为主，与设计持力层标高相对照为辅。

第 3-2-3 条 钻孔完成后，应立即检查成孔质量，并填写施工记录。成孔的质量必须符合表 3-2-3 的要求。

灌注桩施工容许偏差 表 3-2-3

| 序号 | 成孔方法 | 桩径容许偏差 (厘米) | 垂直度容许偏差 (%) | 孔底沉碴或虚土 (沉淤)容许厚度 (厘米) | 桩位容许偏差 (厘米) | |
|----|--------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | | | | 单桩、条形桩基沿垂直轴线方向和群桩基础边桩的偏差 | 条形桩基沿顺轴线方向和群桩基础中间桩的偏差 |
| 1 | 螺旋钻成孔 d=30~40 厘米 | ±2 | 1 | ≤10 | 1/6 桩的设计直径 | 1/4 桩的设计直径 |
| 2 | 潜水钻成孔 d=50~80 厘米 | ±5 | 1 | 端承桩沉碴≤10 摩擦桩≤30 | | |
| 3 | 冲击成孔 d=60~100 厘米 | +10 -5 | 1 | 端承桩沉碴≤10 摩擦桩≤30 | | |
| 4 | 机动洛阳铲、钻孔扩底成孔 d=27~50 厘米 | ±2 | 1 | - | | |
| 5 | 锤击沉管、振动、振动冲击沉管成孔 d=27~48 厘米 | +5 -2 | 1 | - | | |

- 注：1. 桩径容许偏差负值指个别断面；
 2. 采用复打、反插法施工的桩径容许偏差不受本表限制；
 3. 沉碴或虚土厚度指灌注混凝土前的孔底情况；
 4. 螺旋钻成孔灌注桩，当设计不考虑承载力时，孔底虚土容许厚度可适当放宽。

第 3-2-4 条 钢筋笼的直径除符合设计尺寸外，并应符合下列要求：

对于沉管成孔，从管内埋设的钢筋笼，其外径至少比桩管内径小 6 厘米；

对于用导管灌注水下混凝土的桩，其钢筋笼内径应比导管连接处的外径大 10 厘米以上。

第 3-2-5 条 分段制作的钢筋笼，其长度以 5~8 米为宜。搬运时应采取适当措施，防止扭转、弯曲。埋设钢筋笼时，要对准孔位，吊直扶稳，缓缓下沉，避免碰撞孔壁。钢筋笼下放到设计位置后，应立即固定。两段钢筋笼连接时应采用焊接。

第 3-2-6 条 灌注水下混凝土时，可在钢筋笼上设置定位钢筋环、混凝土垫块，或在埋设钢筋笼前于孔中对称设置 3~4 根导向钢管或导向钢筋，以确保保护层厚度。

第 3-2-7 条 在素混凝土桩顶采用构造连接插筋时，必须沿桩周对称、均匀、垂直插入。

第 3-2-8 条 钢筋笼的制作偏差应符合下列规定：

| | |
|-------|----------|
| 主筋间距 | ±10 毫米； |
| 箍筋间距 | ±20 毫米； |
| 钢筋笼直径 | ±10 毫米； |
| 钢筋笼长度 | ±100 毫米。 |

第 3-2-9 条 钢筋笼保护层偏差：

水下灌注混凝土的桩 ±20 毫米；

非水下灌注混凝土的桩 ±10 毫米。

第 3-2-10 条 粗骨料可用卵石或碎石，其最大粒径，用于沉管灌注桩及配筋混凝土不宜大于 5 厘米，并不得

大于钢筋间最小净距的 $1/3$ ，用于直接在成孔中灌注的素混凝土，不得大于桩径的 $1/4$ ，一般以不大于 7 厘米为宜。细骨料应选用干净的中、粗砂。

第 3-2-11 条 检查成孔质量合格后应尽快灌注混凝土。对于水下混凝土及沉管成孔从管内灌注混凝土的桩，在灌注过程中应用浮标或测锤测定混凝土的灌注高度，以检查灌注质量。

灌注桩的灌注充盈系数（实际灌注混凝土体积与按设计桩身直径计算体积之比）不得小于 1；一般土质为 1.1；软土为 1.2~1.3。

第 3-2-12 条 当气温在摄氏零度以下灌注混凝土时，应对混凝土采取加热保暖措施，在桩顶强度未达设计标号 50% 以前不得受冻。

在冻胀土、膨胀土地区施工灌注桩时，应按设计要求做好防冻胀、防膨胀的处理。

(II) 螺旋钻成孔灌注桩

第 3-2-13 条 螺旋钻成孔灌注桩宜用于地下水位以上的一般粘性土、砂土及人工填土地基，不宜用于地下水位以下的上述各类土及碎石土、淤泥和淤泥质土地基。

第 3-2-14 条 不同类别的土层宜选用不同型式的钻头。

一、尖底钻头：适用于粘性土层，如在刃口上镶焊硬质合金刀头，并可钻硬土及冻土；

二、平底钻头：适用于松散土层（见参考资料三图 8-1）。

三、耙式钻头：适用于含有大量砖头、瓦块的杂填土层（见参考资料三 8-2）。

四、筒式钻头：适用于钻混凝土块、条石等障碍物，每次钻取厚度应小于筒身高度，钻进时应适当加水冷却（见参考资料三 8-3）。

第 3-2-15 条 钻孔时应遵守下列规定：

一、安装有筒式出土器的钻机，为便于钻头迅速、准确地对准桩位，可在桩位上放置定位圆环（见参考资料三图 8-4）；

二、开始钻进，或穿过软硬土层交界处时，应保证钻杆垂直，缓慢进尺；

在含砖头、瓦块的杂填土层或含水量较大的软塑粘性土层中钻进时，应尽量减少钻杆晃动，以免扩大孔径；

三、采用长螺旋钻孔到要求深度时，一般应在原处空转清土，然后停止回转，提升钻杆。如孔底虚土超过容许厚度，应用辅助工具（掏土或夯土工具）或二次投钻清底；

四、采用短螺旋钻孔时，每次钻进深度应与螺旋长度大致相同；

五、当出现钻杆跳动，机架摇晃，钻不进尺等异常情况时，应立即停车检查；

钻砂土层时，钻深不宜超过地下初见水位，以防坍孔；

六、钻孔完毕，应用盖板盖好孔口，并防止在盖板上行车；

第 3-2-16 条 灌注混凝土时应遵守下列规定：

一、在灌注混凝土前，必须对孔深、孔径、孔壁、垂直度、孔底虚土厚度和积水深度进行复查、不合格时应及时处理；

二、必须先安放钢筋笼，然后灌注混凝土；

三、混凝土应连续灌注，分层振实；分层的高度按采用的捣固工具而定，一般不得大于 1.5 米；

四、灌注混凝土至桩顶时，应适当超过桩顶设计标高，以保证在凿除浮浆层后，桩顶标高和质量能符合设计要求；

五、混凝土坍落度一般采用 8~10 厘米。

(Ⅲ) 潜水钻成孔灌注桩

第 3-2-17 条 潜水钻成孔灌注桩宜用于一般粘性土、淤泥和淤泥质土及砂土地基，并且可以钻入基岩。潜水钻机尤适于在地下水位较高的土层中成孔。

第 3-2-18 条 护筒应按下列规定设置：

一、地表土层较好，开钻后不坍孔的场地，可不埋设护筒；

二、在杂填土或松软土层中钻孔时，应埋设护筒，以起定位、保护孔口、维持水头等作用；护筒用钢板制作，内径应比钻头直径大 10 厘米，埋入土中深度不宜小于 1.0 米，在护筒顶部应开设 1~2 个溢浆口；

三、应保持护筒的位置正确、稳定，护筒与坑壁之间应用无杂质的粘土填实；护筒中心与桩位中心的偏差不得大于 5 厘米。

第 3-2-19 条 用泥浆护壁、排渣应符合下列要求：

一、在粘土、亚粘土层中钻孔时，可注射清水，以原土造浆护壁、排碴，当穿过砂夹层时，为防止坍孔，宜投入适量粘土以加大泥浆稠度；

二、如砂夹层较厚，或在砂土中钻孔，应采用制备泥浆；

泥浆的稠度应控制适当，过稠影响钻进速度，过稀不利于护壁、排碴。注入干净泥浆的比重应控制在 1.1 左右，排出泥浆的比重宜为 1.2~1.4；当穿过砂夹卵石层或容易坍孔的土层时，排出泥浆的比重可增大至 1.3~1.5；

三、泥浆可就地选择塑性指数 $I_p \geq 10$ 的粘性土除去杂质后调制；

四、施工中应勘测泥浆比重，并应定期测定粘度、含砂量和胶体率。

注：参考的控制值：粘度为 18~22 秒；含砂量不大于 4%；胶体率不小于 90%。

第 3-2-20 条 不同类别的土层应采用不同型式的钻头：

一、一般粘性土、淤泥和淤泥质土及砂土，宜用笼式钻头（参考资料三图 10）；

二、穿过不厚的砂夹卵石层，或在强风化岩层中钻进时，可用镶焊硬质合金刀头的笼式钻头；

三、遇孤石或旧基础时，可用带硬质合金齿的筒式钻头钻穿（见参考资料三图 8-3）。

第 3-2-21 条 应根据土层类别、孔径大小、钻孔深度、供水量，以确定相应的钻进速度：

一、对于淤泥和淤泥质土，最大钻进速度不宜大于 1

米/分钟；对于其它土层，钻进速度以钻机不超负荷为准；

二、在风化岩或其它硬土层中的钻进速度以钻机不产生跳动为准。

第 3-2-22 条 钻进中出现缩颈、坍孔时，可加大泥浆比重以稳孔护壁，也可于缩颈、坍孔段投入粘土、泥膏，使潜水钻空转不进尺进行固壁。

当缩颈、坍孔严重，或泥浆突然漏失时，应立即回填粘土，待孔壁稳定后再钻。

钻孔倾斜时，可往复扫孔纠正，如纠正无效，应于孔中局部回填粘土至偏孔处 0.5 米以上，重新钻进。

第 3-2-23 条 清孔应按下列规定进行：

一、对以原土造浆的钻孔，钻到设计孔深时，可使钻机空转不进尺，同时射水，待孔底残余的泥块已磨成浆，排出泥浆比重降到 1.1 左右（或以手触泥浆无颗粒感觉），即可认为清孔已合格；

二、对注入制备泥浆的钻孔，可采用换浆法清孔，至换出泥浆比重小于 1.15~1.25 时为合格；

三、孔底沉渣（或沉淤）厚度应符合表 3-2-3 规定；清孔完毕，应立即灌注水下混凝土。

第 3-2-24 条 利用各种地质钻机或其它设备改装的正、反循环钻机钻孔，可参照潜水钻成孔灌注桩条例执行。

(IV) 机动洛阳铲挖孔灌注桩

第 3-2-25 条 机动洛阳铲挖孔灌注桩宜用于地下水位以上的一般粘性土、黄土和人工填土地基，不宜用于地下水位以下的上述各类土及碎石土、砂土地基。

第 3-2-26 条 挖孔时应符合下列规定：

一、开挖前，自由悬吊的铲具中心应对准桩孔中心，提升铲具，直接开孔挖土；

二、铲具提升高度：开孔时以 1~2 米为宜，挖深 4 米以后，可加大落距，但不宜大于 3 米。

第 3-2-27 条 挖孔遇到障碍，可采取下列措施：

一、挖干硬土层困难时，可向孔中适量加水，将土浸湿、化软，以提高挖孔效率；

二、挖软弱土层时，可向孔中投入干土或石灰；

三、挖含有砖瓦、石块的杂填土时，可在铲具刃口内侧均匀立焊 6~8 块小钢板，以利将土兜住提出；

四、遇孤石可换用冲锤击碎，或放小炮爆碎后挖取。

第 3-2-28 条 挖孔过程中发现偏斜时，可降低铲具的提升高度，反复修孔，逐步纠正；如偏斜较大，可在偏斜一边紧靠土壁插入 $\varnothing 25 \sim 50$ 毫米钢管强行纠正。

第 3-2-29 条 挖孔到设计深度，经检查合格，应即安放钢筋笼，灌注混凝土。混凝土应分层振捣密实，坍落度一般宜用 6~8 厘米。

(V) 冲击成孔灌注桩

第 3-2-30 条 冲击钻机能穿透各种土层（如碎石土、砂土、一般粘性土、淤泥），并可钻入基岩，适用于地层复杂、荷重较大的情况。

第 3-2-31 条 冲孔设备除选用定型冲击钻机外，也可用双滚筒卷扬机，配制机架和钻头，制作简易冲击钻孔机（见参考资料三图 12），卷扬机提升能力宜为钻头重量

的1.2~1.5倍。

钻头形式有十字形、工字形、人字形等，一般宜用十字形（见参考资料三图13-1）。

第3-2-32条 在钻头锥顶和提升钢丝绳之间，必须设自动转向装置，以保证能冲钻成圆孔。转向装置可用合金套、转向套、转向环、转向杆等，钻头重量大的宜采用合金套（见参考资料三图13-2）。

钢丝绳应选用优质、柔软无死结断丝者，安全系数不小于12。短绳（与转向装置连接）与大绳（起吊钢丝绳）连接的卡扣不得小于3个，各卡扣受力应均匀。钢丝绳与吊环连接弯曲处应安装槽形护铁，以减少磨损。

第3-2-33条 护筒应按下列规定设置：

- 一、护筒内径应比钻头直径大20~40厘米；
- 二、直径小于1米的护筒，其埋设要求同第3-2-18条之二、三；
- 三、直径大于1米的护筒如刚度不够时，可在顶端焊加强圆环，在筒身外壁焊竖向加强肋；埋设可用加压、振动、锤击等方法；
- 四、地下水位较高，孔口土质较差者，护筒刃脚应切入地下水位以下，或适当增加埋置深度。

第3-2-34条 冲击成孔应遵守下列规定：

- 一、开孔时应低锤勤击。如地表为淤泥、细砂等软弱土层，可加小片石和粘土块，反复冲击造壁；
- 二、必须保证泥浆补给，保持孔内浆面稳定；护筒埋设较浅或表土层土质较差者，护筒内泥浆压头不宜过大；
- 三、在各种不同土层中钻进时，可按表3-2-34施工要

表 3-2-34

| 适用土层 | 施工要点 | 效果 |
|---------------|-------------------------------------|----------------|
| 在护筒中及护筒刃脚以下3米 | 小冲程高1米左右,泥浆比重1.4~1.5,土层不好时加入小片石和粘土块 | 造成坚实孔壁 |
| 粘土层 | 中、小冲程高1~2米,加清水或稀泥浆,经常清除钻头上的泥块 | 防粘钻、吸钻,提高钻进效率 |
| 粉砂或中粗砂层 | 中、小冲程高1~2米,泥浆比重1.3~1.5,抛粘土块,勤冲,勤掏碴 | 反复冲击成坚实孔壁,防止坍孔 |
| 砂卵石层 | 中、高冲程2~3米,泥浆比重1.3~1.5,勤掏碴 | 加大冲击能量,提高钻进效率 |
| 基岩 | 高冲程3~4米,泥浆比重1.3左右,勤掏碴 | 加大冲击能量提高钻进效率 |
| 坍孔回填重钻 | 小冲程反复冲击,加粘土块及片石,泥浆比重1.3~1.5 | 造成坚实孔壁 |

点进行;

四、开始钻基岩时应低锤勤击,以免偏斜。如发现钻孔偏斜,应立即回填片石,厚30~50厘米,重新钻进;

五、遇孤石时可抛填相似硬度的片石或卵石,用高冲程冲击,或高低冲程交替冲击,将大孤石击碎挤入孔壁;

六、必须准确控制松绳长度,既要勤松、少松,又要免打空锤;

七、一般不宜多用高冲程,以免扰动孔壁,引起坍孔、扩孔或卡钻事故;

八、应经常检查钢丝绳磨损情况、卡扣松紧程度、转

向装置是否灵活，以免突然掉钻。

第 3-2-35 条 应尽量采用泥浆循环排渣（用泥浆泵）；如采用抽渣筒，当钻进 4~5 米以后，每钻进 0.5~1.0 米应抽渣一次，并及时补浆（见参考资料三图 13-3）。

第 3-2-36 条 每钻进 4~5 米应检孔一次，在更换钻头前或容易缩颈处，均应检孔。

检孔器可用钢筋焊制，直径与钻头直径相同，高度可取直径的 5 倍。

第 3-2-37 条 遇下列情况之一，应立即停钻处理：

一、产生斜孔、弯孔和缩孔时，应停钻抛填粘土块或块石到检孔器被卡住处以上 0.5~1.0 米，重新钻进。不得用钻头修孔，以防卡钻；

二、钻进中如遇坍孔，应立即停钻，回填夹片石的粘土块，反复冲击造壁，造壁稳定后加大泥浆比重，继续钻进；

三、沿护筒周围翻浆或地表沉陷时，应停钻，在护筒外围回填夯实后，方可继续钻进。

第 3-2-38 条 遇卡钻、掉钻，应按下述方法处理：

一、卡钻时应交替紧绳、松绳、将钻头慢慢吊起，不得硬提猛拉，必要时可使用打捞套、打捞钩等辅助工具助提；

二、掉钻时应立即打捞。为便于打捞，应在钻头上预设打捞环、打捞杠、打捞套。

第 3-2-39 条 钻大孔时，可以分级钻孔，第一级钻头直径宜取第二级钻头直径的 0.4~0.6 倍。

第 3-2-40 条 清孔应按下列要求进行：

一、孔壁土质较好不易坍孔者，可用空气吸泥机清孔；

二、孔壁土质较差者宜用泥浆循环清孔，清孔后泥浆

比重应控制在 1.15~1.25 之间；

三、必须及时补充足够的泥浆（或清水），始终保持桩孔中浆面稳定；

四、清孔后孔底沉渣容许厚度应符合表 3-2-3 的规定；

五、清孔完毕，应立即灌注水下混凝土。

(VI) 钻孔扩底灌注桩

第 3-2-41 条 钻孔扩底灌注桩宜用于坚硬、硬塑、可塑、软塑状态的粘性土及密实、中密、稍密的砂土地基，不宜用于流塑状态的粘性土、松散砂土和碎石土地基。

第 3-2-42 条 钻孔扩底灌注桩的大头直径一般为桩身直径的 2.5~3.5 倍。

第 3-2-43 条 钻孔扩底应遵守下列规定：

一、钻进速度不宜大于 50 厘米/分钟；

二、钻孔到设计标高后，应保持空转不进尺，逐渐撑开扩刀，切土扩底。扩毕应继续空转几圈，才能收拢扩刀；

三、必须在扩刀完全收拢，钻机停钻后，才能提升钻杆。钻杆提出孔口之前，应将孔口附近地面上的虚土清除干净；

四、为减小钻进时向上输土的摩擦力，可向螺旋钻杆内适量加水润滑。

第 3-2-44 条 钻孔、扩孔完毕，应清除孔底虚土和积水（灌注混凝土时，孔底中部积水深度不得大于 10 厘米），随后尽快灌注混凝土。混凝土灌到扩大头高度约二分之一处，即安放钢筋笼，继续灌注混凝土，分层振捣密实。

混凝土坍落度视土的含水量，可采用 4~6 厘米或 6~8 厘米。

(VII) 锤击沉管灌注桩

第 3-2-45 条 锤击沉管灌注桩宜用于一般粘性土、淤泥质土、砂土和人工填土地基。对于饱和淤泥等软弱地基，必须制定防止缩颈、断桩等保证质量措施，并经工艺试验成功后方可采用。

第 3-2-46 条 锤击沉管可采用混凝土预制桩尖、活瓣桩尖及锥形封口桩尖（见参考资料三图 15-1~3）；

预制桩尖的混凝土标号不得低于 300 号，桩尖的尺寸和钢筋布置应符合设计要求。

第 3-2-47 条 锤击沉管施工应遵守下列规定：

一、锤击沉管灌注桩宜按桩基施工流水顺序，依次向后退打。对群桩基础，或桩的中心距小于 3~3.5 倍桩径时，应订出保证不影响邻桩质量的技术措施；

二、混凝土预制桩尖埋设的位置应与设计位置相符，桩管应垂直套入桩尖，二者的轴线应一致；

三、锤击不得偏心，如采用预制桩尖，在锤击过程中应检查桩尖有无损坏；

如在沉管过程中，水或泥浆有可能进入桩管时，应在桩管内先灌入高 1.5 米左右的封底混凝土，方可开始沉管；

四、必须严格控制最后二阵十击的贯入度，其值可按设计要求，或根据试桩和当地长期的施工经验确定。

施工时应记录沉入每一桩管的总锤击数及最后一米的锤击数。

第 3-2-48 条 测量沉管的贯入度应在下列条件下进行：

- 一、桩尖未破坏；
- 二、锤击无偏心；
- 三、锤的落距符合规定；
- 四、桩帽和弹性垫层正常；
- 五、用汽锤时，蒸汽压力应符合规定。

第 3-2-49 条 拔管和灌注混凝土应按下列规定进行：

一、每次向桩管内灌注混凝土时应尽量多灌，用长桩管打短桩时，混凝土可一次灌足，打长桩时第一次灌入桩管内的混凝土应尽量灌满。第一次拔管高度应控制在能容纳第二次所需要灌入的混凝土量为限，不宜拔得过高。

在拔管过程中应设专人用测锤或浮标检查管内混凝土面的下降情况；

二、拔管速度应均匀，对一般土层，以不大于 1 米/分钟为宜；在软弱土层及软硬土层交界处，应控制在 0.8 米/分钟以内；

三、采用倒打拔管的打击次数，单动汽锤不得少于 70 次/分钟；自由落锤轻击（小落距锤击）不得少于 50 次/分钟；在管底未拔到桩顶设计标高之前，倒打或轻击不得中断。

第 3-2-50 条 对于混凝土灌注充盈系数小于 1 的桩应采用全复打桩；对于断桩及有缩颈的桩可采用局部复打桩，其复打深度必须超过断桩或缩颈区 1 米以上。

全复打桩施工时应遵守下列要求：

- 一、第一次灌注混凝土应达到自然地面，不得少灌；
- 二、应随拔管随清除粘附在管壁上和散落在地面上的泥土；

三、前后二次沉管的轴线应重合；

四、复打施工必须在第一次灌注的混凝土初凝之前进行。

第 3-2-51 条 对地下水位较低、拔管后孔不缩颈不坍塌的土层，可采用先拔管，然后向孔中灌注混凝土，并应遵守下列要求：

一、拔管时松土不得回落孔中，拔管后经检查孔深、孔径合格，应尽快安放灌注漏斗，放置钢筋笼，及时灌注混凝土；

二、混凝土应连续灌注，分层振捣密实，每层高度不宜超过 1~1.5 米。

第 3-2-52 条 当桩身配筋时混凝土坍落度宜采用 8~10 厘米，素混凝土桩宜采用 6~8 厘米。

(VIII) 振动、振动冲击沉管灌注桩

第 3-2-53 条 振动、振动冲击沉管灌注桩的适用范围除与锤击沉管灌注桩相同外，并适用于稍密及中密的碎石土地基。

第 3-2-54 条 沉管应遵守下列规定：

一、采用桩尖的种类和要求同第 3-2-46 条；

二、施工顺序、桩尖、桩管就位和预灌封底混凝土的要求同第 3-2-47 条之一、二、三；

三、振动沉管时，可用收紧钢丝绳加压，或加配重，以提高沉管效率。用收紧钢丝绳加压时，应随桩管沉入深度随时调整离合器，防止抬起桩架，发生事故；

四、必须严格控制最后两个两分钟的贯入速度，其值

按设计要求，或根据试桩和当地长期的施工经验确定。测量贯入速度时，应使配重及电源电压保持正常。

第 3-2-55 条 拔管和灌注混凝土应遵守下列规定：

- 一、混凝土灌入量的要求同第 3-2-49 条之一；
- 二、根据地基土层情况不同，可采用单打法、反插法或复打法。复打的施工要求同第 3-2-50 条。

注：单打法适用于含水量较小的土层，反插法及复打法适用于饱和土层。

第 3-2-56 条 单打法施工应按下列规定进行：

- 一、桩管内灌入混凝土后，先振动 5~10 秒，再开始拔管。应边振边拔，每拔 0.5~1 米，停拔振动 5~10 秒；如此反复，直至桩管全部拔出；
- 二、在一般土层内拔管速度宜为 1.2~1.5 米/分钟，在较软弱土层中，不得大于 0.8~1.0 米/分钟。

第 3-2-57 条 反插法施工应按下列要求进行：

- 一、桩管灌入混凝土后，先振动再开始拔管，每次拔管高度 0.5~1.0 米，反插深度 0.3~0.5 米；在拔管过程中应分段添加混凝土，保持管内混凝土面始终不低于地表面，或高于地下水位 1~1.5 米以上，并应控制拔管速度不得大于 0.5 米/分钟；
- 二、在桩尖处约 1.5 米范围内，宜多次反插，以扩大桩的端部断面；
- 三、穿过淤泥夹层时，应适当放慢拔管速度，并减少拔管高度和反插深度。

第 3-2-58 条 桩身配筋时混凝土坍落度宜为 8~10 厘米，素混凝土桩宜为 6~8 厘米。

(IX) 水下混凝土的灌注

第 3-2-59 条 水下混凝土的配合比和采用的骨料应符合下列规定：

- 一、水下灌注的混凝土必须具有良好的和易性，配合比应事先经过试验确定，坍落度一般采用 16~20 厘米；
- 二、含砂率宜为 40~45%，细骨料应尽量选用中砂；
- 三、粗骨料应尽量选用河卵石，也可用碎石，其粒径不宜大于 4 厘米。

第 3-2-60 条 导管的构造和使用应符合下列要求：

一、导管壁厚不宜小于 3 毫米，直径可采用 200~250 毫米，直径制作偏差不得超过±2 毫米；导管的分节长度按工艺要求确定。

两管之间可用法篮或丝扣连接，最下端的一节的底部应焊设加强箍；

二、为避免提升导管时法篮边缘挂住钢筋笼，可设置锥形法篮护罩（见参考资料三图 19-1），或加焊三角形加劲板；

三、采用丝扣连接时（见参考资料三图 19-2），应注意在使用、运输、堆放过程中不得碰撞螺纹，或压坏管口。灌完混凝土后，应立即将螺纹冲洗干净，及时涂油防锈；

四、导管使用前应试拼，试压，并试验隔水栓能否通过。

第 3-2-61 条 隔水栓宜用预制混凝土球塞（见参考资料三图 19-3）。如采用球胆或木球作隔水栓，必须确保在灌注混凝土时球胆或木球能顺利排出。

第 3-2-62 条 灌注水下混凝土应遵照下列规定：

一、为了保证水下混凝土的质量，贮斗内混凝土的初存量必须满足首次灌注时导管底端能埋入混凝土中 0.8~1.2 米；

二、开始灌注时，预制混凝土球塞或木球吊挂的位置应临近水面；

三、导管底端到孔底距离应能顺利排出隔水栓，一般保持 30~50 厘米。排塞（球）后不得将导管插回孔底；

四、随着混凝土的上升，要适当提升和拆卸导管，导管底端埋入管外混凝土面以下一般应保持 2~3 米，并不得小于 1 米，严禁把导管底端提出混凝土面；

在混凝土灌注过程中，应设专人经常测量导管的埋深；

五、提升导管时要避免碰动钢筋笼，并应采取有效措施，防止钢筋笼上浮；

六、水下混凝土的灌注应连续进行，不得中断，如发生堵管、导管进水等事故，应及时采取适当的处理措施；

七、应注意控制最后一次混凝土的灌入量，当凿除桩顶浮浆层后，应保证设计的桩顶标高及混凝土质量。

第三节 承台施工

第 3-3-1 条 必须在完成下列工序后才能施工承台：

一、基桩施工中间验收合格；

二、桩顶疏松混凝土全部凿完，如桩顶低于设计标高者，须用同级混凝土接长达到一定强度；并将埋入承台的桩顶部分凿毛、洗净；

三、桩顶伸入承台中的钢筋符合设计要求；

四、对于冻胀（膨胀土）地区，已按设计要求完成承台底防冻胀（膨胀）的处理措施。

第 3.3.2 条 安放、绑扎承台钢筋前，应清除槽底虚土、杂物；浇灌混凝土前应进行隐蔽工程验收。

第 3.3.3 条 对于地震设防区，当承台采用支模灌注混凝土时，承台侧面应按设计要求回填夯实。

第四节 灌注桩基础工程验收

第 3.4.1 条 验收灌注桩基础工程应检验其是否符合设计要求及本章有关的各项规定。

第 3.4.2 条 灌注桩基础工程验收时应提交下列资料：

- 一、桩位测量放线平面图；
- 二、材料检验、试块试压记录；
- 三、桩的工艺试验记录；
- 四、桩和承台的施工记录或施工记录汇总表；
- 五、隐蔽工程验收记录；
- 六、设计变更通知书、事故处理记录及有关文件；
- 七、桩基竣工平面图。

第 3.4.3 条 灌注桩的施工容许偏差应符合表 3-2-3 的规定。

第 3.4.4 条 如实际的地质资料与设计资料不符，或在施工时对桩身质量和承载力有疑问时，可采用荷载试验或其它检验手段进行检查，其数量由设计、施工及其它有关单位共同研究决定。

附 录

附录一 灌注桩成孔工

| 成孔工艺 | 柱 径 (厘米) | 柱 长 (米) | 穿 越 土 | | | | | | |
|-----------|-----------------|------------------------|---------------------------|---------------|----------|---------------------------|------------------------|--------|---|
| | | | 一般 粘性 土及 其填 土 | 黄 土 | | 季节 性冻 土、 膨胀 土 | 淤 泥 和 淤 泥 质 土 | 砂 土 | |
| | | | | 非自 重温 陷 | 自重 湿陷 | | | | |
| 钻、挖、冲孔灌注桩 | 螺旋钻成孔 | 30~60 | ≤12 | ○ | ○ | △ | ○ | × | △ |
| | 潜水钻成孔 (泥浆护壁) | 50~80 | ≤50 | ○ | △ | × | △ | ○ | △ |
| | 回旋钻成孔 (泥浆护壁) | 50~80 | ≤50 | ○ | △ | × | △ | ○ | △ |
| | 机动洛阳铲 成孔 | 27~50 | ≤20 | ○ | ○ | △ | △ | × | × |
| | 冲击成孔 (泥浆护壁) | 60~100 | ≤50 | ○ | × | × | △ | △ | ○ |
| 钻扩 灌注桩 | 钻孔扩底 | 桩柱 30~40 扩大头 80~120 | ≤5 | ○ | ○ | △ | ○ | × | △ |
| 沉管 灌注桩 | 锤击沉管成 孔 | 27~48 | ≤23 | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ |
| | 振动沉管成 孔 | 27~40 | ≤20 | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ |
| | 振动冲击沉 管成孔 | 27~40 | ≤10 | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ○ |

注：表中符号 ○—表示适合；△—表示有可能采用；×—表示不能

艺选择参考表

| 层 | 桩端进入持力层 | | | | 地下水位 | | 对环境影 | | 孔底有无挤密 | 备注 |
|---|-------------|------------------|------------------|-------------|--------------------------------------|--------|--------|-----------------------|--------|---|
| | 碎 石 土 | 硬 粘 性 土 | 密 实 砂 土 | 碎 石 土 | 软 岩 石 和 风 化 岩 石 | 以 上 | 以 下 | 振 动 或 噪 音 | | |
| × | ○ | ○ | △ | × | ○ | × | 无 | 无 | 无 | 孔底虚土可用辅助工具处理 |
| △ | ○ | ○ | △ | ○ | △ | ○ | 无 | 有 | 无 | |
| × | ○ | ○ | △ | △ | △ | ○ | 无 | 有 | 无 | 利用地质钻改造 |
| × | ○ | × | × | × | ○ | × | 有 | 无 | 无 | |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | 有 | 有 | 无 | 如地基上层为软土，下层为碎石土或基岩，则上层采用潜水钻，下层采用冲击钻，能提高钻孔效率 |
| × | ○ | △ | × | × | ○ | △ | 无 | 无 | 无 | |
| × | ○ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | 有 | 无 | 有 | 穿越流动性淤泥应有防缩颈措施 |
| × | ○ | △ | △ | △ | ○ | ○ | 有 | 无 | 有 | 穿越流动性淤泥应有防缩颈措施 |
| △ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | 有 | 无 | 有 | 穿越流动性淤泥应有防缩颈措施 |

采用。

附录二 考虑承台（包括地下墙体） 与基桩协同工作和土的弹性抗力作用 计算受水平力的桩基

一、基本假定

1. 将土体视为弹性变形介质，其水平抗力系数随深度线性增加，地面处为零。

对于低桩承台，考虑到承台底面一般是原地基土与新回填土的交界面，为简化计算，在计算基桩时，假定桩顶标高处的水平抗力系数为零并随深度增长。

2. 在水平力和竖向压力作用下，基桩表面和承台、地下墙体表面上任一点的接触应力（即法向弹性抗力）与该点的法向位移 δ 成正比。

3. 忽略桩身、承台、地下墙体侧面与土之间的粘着力和摩擦力对抵抗水平力的作用。

4. 承台与地基土之间的摩阻力同法向压力成正比，同承台水平位移值无关。

5. 桩顶与承台刚性连接（固接），承台的刚度视为无穷大。因此，只有当承台的刚度较大，或由于上部结构与承台的协同作用使承台的刚度得到增强的情况下，才适于采用此种方法计算。

计算中考虑土的弹性抗力时，要注意土体的稳定性。

二、基本计算参数

1. 地基土水平抗力系数的比例系数 m ，其值按第 2-3-14 条规定采用。

当基桩侧面为几种土层组成时，应求得主要影响深度 $h_m = 2(d+1)$ 米范围内的 \bar{m} 值作为计算值（见附图 2-1）。

当 h_m 深度内存在两层不同土时：

$$\bar{m} = \frac{m_1 h_1^2 + m_2 (2h_1 + h_2) h_2}{h_m^2} \quad (\text{附 2-1})$$

当 h_m 深度内存在三层不同土时：

$$\bar{m} = \frac{m_1 h_1^2 + m_2 (2h_1 + h_2) h_2 + m_3 (2h_1 + 2h_2 + h_3) h_3}{h_m^2} \quad (\text{附 2-2})$$

2. 承台侧面地基土水平抗力系数 C_n

$$C_n = m h_n \quad (\text{附 2-3})$$

式中 m ——承台埋深范围地基土的水平抗力系数的比例系数（吨/米⁴）；

h_n ——承台埋深（米）。

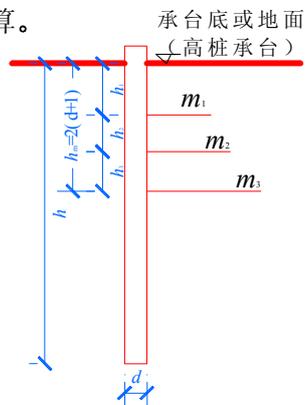
3. 地基土竖向抗力系数 C_0 、 C_b 和地基土竖向抗力系数的比例系数 m 。

(1) 桩底面地基土竖向抗力系数 C_0

$$C_0 = m_0 h \quad (\text{附 2-4})$$

式中 m_0 ——桩底面地基土竖向抗力系数的比例系数（吨/米⁴），按第 2-3-14 条规定采用；

h ——桩的入土深度（米），当 h 小于 10 米时按 10 米计算。



附图 2-1

(2) 承台底地基土竖向抗力系数 C_b

$$C_b = m_0 h_n \quad (\text{附 2-5})$$

式中 h_n ——承台埋深（米），当 h_n 小于 1 米时，按 1 米计算。

(3) 岩石地基的竖向抗力系数 C_R ，不随岩层埋深而增长，其值按附表 2-1 采用。

岩石地基竖向抗力系数 C_R 附表 2-1

| 单轴极限抗压强度 R_c (吨/米 ²) | C_R (吨/米 ³) |
|------------------------------------|---------------------------|
| 100 | 30000 |
| ≥ 2500 | 1500000 |

注： R_c 为表列数值的中间值时， C_R 采用插入法确定。

4. 桩身抗弯刚度 EI : 按第 2-3-12 条规定计算确定。

5. 桩身轴向压力传布系数 ξ_N

$$\xi_N = 0.5 \sim 1.0$$

摩擦桩采用其小值，端承桩采用其大值。

6. 地基土与承台板之间的摩擦系数 μ ，按附表 2-2 采用。

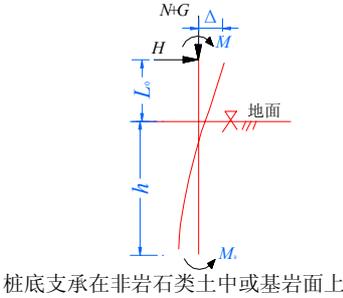
地基土与承台板之间的摩擦系数 μ 附表 2-2

| 土 的 类 别 | | 摩 擦 系 数 |
|---------|-----|-------------|
| 一般粘性土 | 可 塑 | 0. 25 |
| | 硬 塑 | 0. 25~0. 30 |
| | 坚 硬 | 0. 30~0. 40 |
| 砂 土 | | 0. 40 |
| 碎石土 | | 0. 40~0. 50 |

三、计算公式

1. 单桩或与外力作用平面相垂直的单排桩，见附表 2-3。

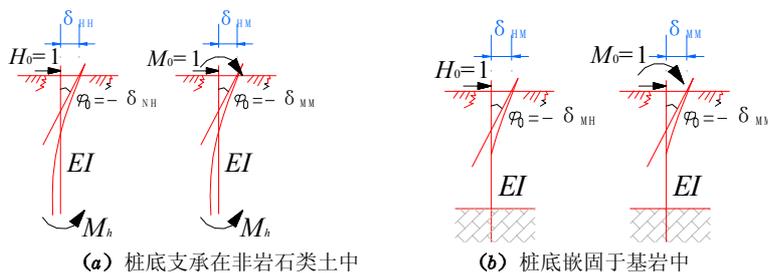
附表 2-3

| 计算步骤 | 内 容 | 备 注 | | | | | | |
|------------------------|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------|--|---------------------|--------------------------------|
| 1 确定荷载和计算图式 |  <p style="text-align: center;">桩底支承在非岩石类土中或基岩面上</p> | | | | | | | |
| 2 确定基本参数 | m 、 EI 、 α | 详见附录二（二） | | | | | | |
| 3 求地面处桩身内力 | <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; vertical-align: top;">弯矩 ($F \times L$)</td> <td style="width: 5%; vertical-align: top;"> </td> <td style="width: 80%;">$M_0 = \frac{M}{n} + \frac{H}{n} L_0$</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">横向力 (F)</td> <td style="vertical-align: top;"> </td> <td>$H_0 = \frac{H}{n}$</td> </tr> </table> | 弯矩 ($F \times L$) | | $M_0 = \frac{M}{n} + \frac{H}{n} L_0$ | 横向力 (F) | | $H_0 = \frac{H}{n}$ | n ——单排桩的桩数 低桩台时，令 $L_0=0$ |
| 弯矩 ($F \times L$) | | $M_0 = \frac{M}{n} + \frac{H}{n} L_0$ | | | | | | |
| 横向力 (F) | | $H_0 = \frac{H}{n}$ | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------|-----------------------------|--|--|---|
| 4 | 求单位力作用于桩身地面处，桩身在该处产生的变位 | $H_0=1$ 作用时 | 水 平 移 | $h \leq \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \times \frac{(B_3 D_4 - B_4 D_3) + K_h (B_2 D_4 - B_4 D_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$ | 桩底支承于非岩石类土中，当 $h > \frac{2.5}{\alpha}$ ，可令 $K_h=0$ ； 柱底支承基岩面上，当 $h > \frac{2.5}{\alpha}$ ，可令 $K_h=0$ 。 K_h 计算见注 (3)。 系数 $A_1 \dots D_4$ 、 A_f 、 B_f 、 C_f 根据 $\bar{h} = \frac{h}{\alpha l}$ 查附表 2-6 |
| | | | $(F^{-1} \times L)$ | $h > \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_f$ | |
| | | 转 角 | $h \leq \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{MH} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \times \frac{(A_3 D_4 - A_4 D_3) + K_h (A_2 D_4 - A_4 D_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$ | | |
| | | | (F^{-1}) | $h > \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{MH} = \frac{1}{\alpha^2 EI} B_f$ | |
| | $M_0=1$ 作用时 | 水 平 移 | $h \leq \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{HM} = \delta_{MH}$ | | |
| | | | (F^{-1}) | $h > \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{HM} = \delta_{MH}$ | |
| | | 转 角 | $h \leq \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} \times \frac{(A_3 C_4 - A_4 C_3) + K_h (A_2 C_4 - A_4 C_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$ | | |
| | | | $(F^{-1} \times L^{-1})$ | $h > \frac{2.5}{\alpha}$ | $\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} C_f$ | |

| 计算步骤 | | 内容 | 备注 |
|------|----------------|---------------------|--|
| 5 | 求地面处桩身的变位 | 水平位移 (L) 转角 (弧角) | $x_0 = H_0 \delta_{HH} + M_0 \delta_{HM}$ $\varphi_0 = - (H_0 \delta_{MH} + M_0 \delta_{MM})$ |
| 6 | 求地面以下任一深度的桩身内力 | 弯矩 (F×L) 横向力 (F) | $M_y = \alpha^2 EI (x_0 A_3 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_3 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D_3)$ $H_y = \alpha^3 EI (x_0 A_4 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_4 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_4 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D_4)$ |
| 7 | 求桩顶水平位移 | (L) | $\Delta = x_0 - \varphi_0 L_0 + \Delta_0$ 其是 $\Delta_0 = \frac{H L_0^3}{3nEI} + \frac{M L_0^2}{2nEI}$ |
| 8 | 求桩身最大弯矩及其位置 | 最大弯矩位置 (L) | C_1, C_2 查附表 2-7 |
| | | 最大弯矩 (F×L) | |

注：1、 δ_{HH} 、 δ_{MH} 、 δ_{HM} 和 δ_{MM} 的物理意义图示：



或基岩表面

2. 当桩底嵌固于基岩中时， δ_{HH} …… δ_{MM} 按下列公式计算：

$$\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \times \frac{B_2 D_1 - B_1 D_2}{A_2 B_1 - A_1 B_2};$$

$$\delta_{HM} = \delta_{MH};$$

$$\delta_{MH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \times \frac{A_2 D_1 - A_1 D_2}{A_2 B_1 - A_1 B_2};$$

$$\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} \times \frac{A_2 C_1 - A_1 C_2}{A_2 B_1 - A_1 B_2}$$

3. 系数 K_h $K_h = \frac{C_0 I_0}{\alpha EI}$

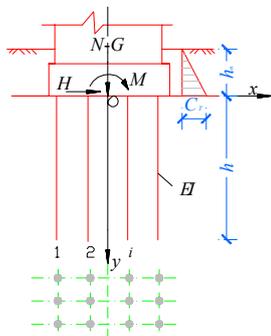
式中： C_0 、 α 、 E 、 I ——详见附录二之二；

I_0 ——桩底截面抵抗矩，对于非扩底桩 $I_0 = I$ 。

4. 表中量纲： F ——力； L ——长度。

2. 位于（或平行于）外力作用平面的单排（或多排）桩低桩台桩基，见附表 2-4

附表 2-4

| 计 算 步 骤 | 内 容 | 备 注 |
|-------------|--|--------------------------|
| 1 确定荷载和计算图式 |  | <p>坐标原点应选在桩群对称点上或重心上</p> |
| 2 确定基础计算参数 | m 、 m_0 、 EI 、 α 、 ξ_N 、 C_0 、 C_b 、 μ | <p>详见附录二之二</p> |

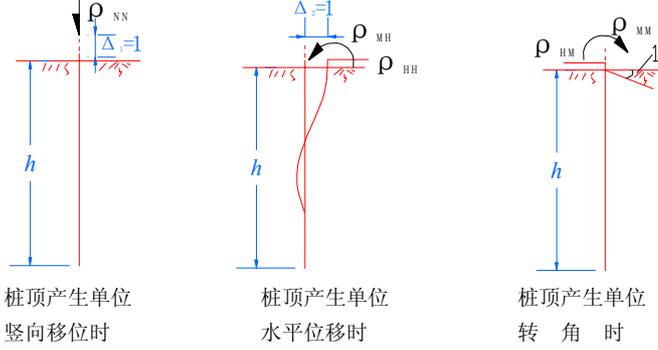
| | | | | | |
|---|----------------------|-----------|--------------------------------|--|---|
| 3 | 求单位力作用于桩顶时, 桩顶产生的变位 | $H_i=1$ | 水平位移 ($F \times L^{-1}$) | δ_{HH} | 公式同附表 2-3 中步骤 4 |
| | | 作用时 | 转 角 (F^{-1}) | δ_{MH} | |
| | | $M_i=1$ | 水平位移 (F^{-1}) | $\delta_{HM}=\delta_{MH}$ | |
| | | 作用时 | 转 角 ($F \times L^{-1}$) | δ_{MM} | |
| 4 | 求桩顶发生单位变位时, 在桩顶引起的内力 | 发生单位竖向位移时 | 轴 向 力 ($F \times L^{-1}$) | $\rho_{NN} = \frac{1}{\frac{\xi_N h}{EA} + 1C_0 A_0}$ | ξ_N, C_0, A_0 ——见附录二之二 E, A ——桩身弹性模量和横截面面积 |
| | | 发生单位水平位移时 | 水 平 力 ($F \times L^{-1}$) | $\rho_{HH} = \frac{\delta_{MM}}{\delta_{HH}\delta_{MM} - \delta_{MH}^2}$ | |
| | | | 弯 矩 (F) | $\rho_{MH} = \frac{\delta_{MH}}{\delta_{HH}\delta_{MM} - \delta_{MH}^2}$ | |
| | | 发生单位转角时 | 水 平 力 (F) | $\rho_{HM} = \rho_{MH}$ | |
| | | | 弯 矩 ($F \times L$) | $\rho_{MM} = \frac{\delta_{HH}}{\delta_{HH}\delta_{MM} - \delta_{MH}^2}$ | |

| 计 算 步 骤 | | | 内 容 | 备 注 | |
|---------|----------------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| 5 | 求承台发生单位变位时所有桩顶、承台和侧墙引起的反力和 | 发生单位竖向位移时 | 竖向反力 ($F \times L^{-1}$) | $\gamma_{vv} = n\rho_{NN} + C_b A_b$ | $B_0 = B + 1$; B ——垂直于力作用面方向的承台宽; A_b 、 I_b 、 F^c 、 S^c 和 I^c ——详见附注(3)、(4); n ——基桩数; x_i ——座标原点至各桩的距离; K_i ——第 i 桩的根数 |
| | | | 水平反力 ($F \times L^{-1}$) | $\gamma_{uv} = u C_b A_b$ | |
| | 发生单位水平位移时 | 水平反力 ($F \times L^{-1}$) | $\gamma_{uu} = n\rho_{HH} + B_0 F^c$ | | |
| | | 反弯矩 (F) | $\gamma_{\mu u} = -n\rho_{MH} + B_0 S^c$ | | |
| | 发生单位转角时 | 水平反力 (F) | $\gamma_{u\beta} = \gamma_{\beta u}$ | | |
| | | 反弯矩 ($F \times L$) | $\gamma_{\beta\beta} = n\rho_{MM} + \rho_{NN} \sum_i K_i x_i^2 + B_0 I^c + C_b I_b$ | | |
| 6 | 求承台变位 | 竖向位移 (L) | $V = \frac{(N+G)}{\gamma_{vv}}$ | | |
| | | 水平位移 (L) | $U = \frac{\gamma_{\beta\beta} H - \gamma_{u\beta} M}{\gamma_{uu} \gamma_{\beta\beta} - \gamma_{u\beta}^2} + \frac{(N+G) \gamma_{uv} \gamma_{\beta\beta}}{\gamma_{vv} (\gamma_{uu} \gamma_{\beta\beta} - \gamma_{u\beta}^2)}$ | | |
| | | 转 角 (弧度) | $\beta = \frac{\gamma_{uv} M - \gamma_{u\beta} H}{\gamma_{uu} \gamma_{\beta\beta} - \gamma_{u\beta}^2} + \frac{(N+G) \gamma_{uv} \gamma_{u\beta}}{\gamma_{vv} (\gamma_{uu} \gamma_{\beta\beta} - \gamma_{u\beta}^2)}$ | | |

| | | | | |
|----|------------------|-----------------------|--|--|
| 7 | 求任一基桩桩顶内力 | 轴向力 (F) | $N_{oi} = (V + \beta x_i) \rho_{NN}$ | x_i 在 origin 以右取正, 以左取负 |
| | | 横向力 (F) | $H_0 = U \rho_{HH} - \beta \rho_{HM}$ | |
| | | 弯矩 ($F \times L$) | $M_0 = \beta \rho_{MM} - U \rho_{MH}$ | |
| 8 | 求任一深度桩身弯矩 | 弯矩 ($F \times L$) | $M_y = \alpha^2 EI (U A_s + \frac{\beta}{\alpha} B_3 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D^3)$ | A_3, B_3, C_3, D_3 查附表 2-6, 当桩身变截面配筋时作该项计算 |
| 9 | 求桩身是大弯矩及其位置 | 最大弯矩位置 (L) | $y_{M_{max}}$ | 计算公式同附表 2-3 |
| | | 最大弯矩 ($F \times L$) | M_{max} | |
| 10 | 求承台和侧墙的弹性抗力 | 水平抗力 (F) | $H_E = U B_0 F^c + \beta B_0 S^c$ | 10、11、12 项为非必算内容 |
| | | 反弯矩 ($F \times L$) | $M_E = U B_0 S^c + \beta B_0 I^c$ | |
| 11 | 求承台底地基土的弹性抗力和摩阻力 | 竖向抗力 (F) | $N_b = V C_b A_b$ | |
| | | 水平抗力 (F) | $H_b = \mu N_b$ | |
| | | 反弯矩 ($F \times L$) | $M_b = \beta C_b I_b$ | |

| | 计 算 步 骤 | 内 容 | 备 注 |
|----|------------|----------------------------|-----|
| 12 | 校核水平力的计算结果 | $\sum H_i + H_E + H_b = H$ | |

注：1. ρ_{NN} 、 ρ_{HH} 、 ρ_{MH} 、 ρ_{HM} 和 ρ_{MM} 的物理意义图示：



2. A_0 ——单桩桩底压力分布面积，对于端承桩， A_0 为单桩的底面积；对于摩擦桩，取下列二公式计算值之较小者：

$$A_0 = \pi \left(h \tan \frac{\bar{\varphi}}{4} + \frac{d}{2} \right)^2 \quad A_0 = \frac{\pi}{4} S^2$$

式中 h ——桩入土深度；
 $\bar{\varphi}$ ——桩周各土层内摩擦角的加权平均值；
 d ——桩的计算直径；
 s ——桩的中心距。

3. F^c 、 S^c 、 I^c ——承台底面以上侧向土水平抗力系数 C 图形的面积、对于底面的面积距、惯性矩；

$$F^c = \frac{C_n h_n}{2}$$

$$S^c = \frac{C_n h_n^2}{6}$$

$$I^c = \frac{C_n h_n^3}{12}$$

4. A_b 、 I_b ——承台底与地基土的接触面积、惯性矩；

$$A_b = F - nA$$

$$I_b = I_F - \sum A K_i x_i^2$$

式中 F ——承台底面积；
 nA ——各基桩桩顶横截面积和。

3. 位于（或平行于）外力作用平面的单排（或多排）桩高桩台桩基，见附表 2-5。

附表 2-5

| | 计 算 步 骤 | 内 容 | 备 注 |
|---|-------------------------|---|-------------------|
| 1 | 确定荷载和计算图式 | | 坐标原点应选在桩群对称点上或重心上 |
| 2 | 确定基本计算参数 | m 、 m_0 、 EI 、 α 、 ξ_N 、 C_0 | 详见附录二之二 |
| 3 | 求单位力作用于桩身地面处，桩身在该处产生的变位 | δ_{HH} 、 δ_{MH} 、 δ_{HM} 、 δ_{MM} | 公式同附表 2-3 |

| | | | | |
|---|----------------------|----------------|-----------------------------------|---|
| 4 | 求单位力作用于桩顶时, 桩顶产生的变位 | $H_i=1$ | 水平位移 ($F \times L^{-1}$) | $\delta'_{HH} = \frac{l_0^3}{3EI} + \delta_{MM}l_0 + 2\delta_{MH}l_0 + \delta_{HH}$ |
| | | | 转 角 (F^{-1}) | $\delta'_{MH} = \frac{l_0^2}{2EI} + \delta_{MM}l_0 + \delta_{MH}$ |
| | | $M_i=1$ | 水平位移 (F^{-1}) | $\delta_{HM} = \delta'_{MH}$ |
| | | | 转 角 ($F^{-1} \times L^{-1}$) | $\delta'_{MM} = \frac{l_0}{EI} + \delta_{MM}$ |
| 5 | 求桩顶发生单位变位时, 在桩顶引起的内力 | 发生竖向单位位移时 | 轴 向 力 ($F \times L^{-1}$) | $\rho_{NN} = \frac{1}{\frac{l_0 + \xi_N h}{EA} + \frac{1}{C_0 A_0}}$ |
| | | | 发生水平单位位移时 | 水 平 力 ($F \times L^{-1}$) |
| | | 弯 矩 (F) | | $\rho_{MH} = \frac{\delta'_{MM}}{\delta'_{HH}\delta'_{MM} - \delta'^2_{MH}}$ |
| | | 发生单位转角时 | 水 平 力 (F) | $\rho_{HM} = \rho_{MH}$ |
| | | | 弯 矩 ($F \times L$) | $\rho_{MM} = \frac{\delta'_{HH}}{\delta'_{HH}\delta'_{MM} - \delta'^2_{MH}}$ |

续附表

| 计 算 步 骤 | | | 内 容 | 备 注 |
|---------|-----------------------|--------------|---|---|
| 6 | 求承台发生单位变位时,所有桩顶引起的反力和 | 单位竖直位移时 | 竖向反力 ($F \times L^{-1}$) $\gamma_{vv} = n \rho_{NN}$ | n ——桩数; x_i ——坐标原点至各桩的距离; K_i ——第 i 排桩的根数 |
| | | 单位水平位移时 | 水平反力 ($F \times L^{-1}$) $\gamma_{uu} = n \rho_{HH}$ | |
| | | | 反弯矩 (F) $\gamma_{\beta u} = -n \rho_{MH}$ | |
| | | 单位转角时 | 水平反力 (F) $\gamma_{u\beta} = \gamma_{\beta u}$ | |
| | | | 反弯矩 ($F \times L$) $\gamma_{\beta\beta} = n \rho_{MM} + \rho_{NN} \sum K_i x_i^2$ | |
| 7 | 求承台变位 | 竖直位移 (L) | $V = \frac{N+G}{\gamma_{vv}}$ | |
| | | 水平位移 (L) | $U = \frac{\gamma_{\beta\beta} H - \gamma_{u\beta} M}{\gamma_{uu} \gamma_{\beta\beta} - \gamma_{u\beta}^2}$ | |
| | | 转 角 (弧度) | $\beta = \frac{\gamma_{uu} M - \gamma_{u\beta} H}{\gamma_{uu} \gamma_{\beta\beta} - \gamma_{u\beta}^2}$ | |

| | | | | |
|----|----------------|-----------------------|---|---|
| 8 | 求任一基桩桩顶内力 | 轴 向 力 (F) | $N_i = (V + \beta x_i) \rho_{NN}$ | x_i 在原 O 以右取正, 以左取负 |
| | | 横 向 力 (F) | $H_i = (U \rho_{HH} - \beta \rho_{HM})$ | |
| | | 弯 矩 ($F \times L$) | $M_i = \beta \rho_{MM} - U \rho_{MH}$ | |
| 9 | 求地面处桩身截面上的内力 | 横 向 力 (F) | $H_0 = H_i$ | |
| | | 弯 矩 ($F \times L$) | $M_0 = M_i + H_i l_0$ | |
| 10 | 求地面处桩身的变位 | 水 平 位 移 (L) | $x_0 = H_0 \delta_{HH} + M_0 \delta_{HM}$ | |
| | | 转 角 (弧度) | $\varphi_0 = - (H_0 \delta_{MH} + M_0 \delta_{MM})$ | |
| 11 | 求地面下任一深度桩身截面内力 | 弯 矩 ($F \times L$) | $M_y = \alpha^2 EI \left[x_0 A_3 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_3 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{H_0}{\alpha^2 EI} D_3 \right]$ | $A_3 \dots D_4$ 查附表 2-6, 当桩身变载面配筋时作该项计算 |
| | | 横 向 力 (F) | $H_y = \alpha^3 EI \left[x_0 A_4 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_4 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_4 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D_4 \right]$ | |
| 12 | 求桩身最大变矩及其位置 | 最大弯矩位置 (L) | $y_{M_{max}}$ | 计算公式同附表 2-3 |
| | | 最大弯距 ($F \times L$) | M_{max} | |

影 响 函

| 换算深度 $\bar{h}=\alpha y$ | A ₃ | B ₃ | C ₃ | D ₃ | A ₄ |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0.00000 | 0.00000 | 1.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 0.1 | -0.00017 | -0.00001 | 1.00000 | 0.10000 | -0.00500 |
| 0.2 | -0.00133 | -0.00013 | 0.99999 | 0.20000 | -0.02000 |
| 0.3 | -0.00450 | -0.00067 | 0.99994 | 0.30000 | -0.04500 |
| 0.4 | -0.01067 | -0.00213 | 0.99974 | 0.39998 | -0.08000 |
| 0.5 | -0.02083 | -0.00521 | 0.99922 | 0.49991 | -0.12499 |
| 0.6 | -0.03600 | -0.01080 | 0.99806 | 0.59974 | -0.17997 |
| 0.7 | -0.05716 | -0.02001 | 0.99580 | 0.69935 | -0.24490 |
| 0.8 | -0.08532 | -0.03412 | 0.99181 | 0.79854 | -0.31975 |
| 0.9 | -0.12144 | -0.05466 | 0.98524 | 0.89705 | -0.40443 |
| 1.0 | -0.16652 | -0.08329 | 0.97501 | 0.99445 | -0.49881 |
| 1.1 | -0.22152 | -0.12192 | 0.95975 | 1.09016 | -0.60268 |
| 1.2 | -0.28737 | -0.17260 | 0.93783 | 1.18342 | -0.71573 |
| 1.3 | -0.36496 | -0.23760 | 0.90727 | 1.27320 | -0.83753 |
| 1.4 | -0.45515 | -0.31933 | 0.86575 | 1.35821 | -0.96746 |
| 1.5 | -0.55870 | -0.42039 | 0.81054 | 1.43680 | -1.10468 |
| 1.6 | -0.67629 | -0.54348 | 0.73859 | 1.50695 | -1.24808 |
| 1.7 | -0.80848 | -0.69144 | 0.64637 | 1.56621 | -1.39623 |
| 1.8 | -0.95564 | -0.86715 | 0.52997 | 1.61162 | -1.54728 |
| 1.9 | -1.11796 | -1.07357 | 0.38503 | 1.63969 | -1.69889 |
| 2.0 | -1.29535 | -1.31361 | 0.20676 | 1.64628 | -1.84818 |
| 2.2 | -1.69334 | -1.90567 | -0.27087 | 1.57538 | -2.12481 |
| 2.4 | -2.14117 | -2.66329 | -0.94885 | 1.35201 | -2.33901 |
| 2.6 | -2.62126 | -3.59987 | -1.87734 | 0.91679 | -2.43695 |
| 2.8 | -3.10341 | -4.71748 | -3.10791 | 0.19729 | -2.34558 |
| 3.0 | -3.54058 | -5.99979 | -4.68788 | -0.89126 | -1.96928 |
| 3.5 | -3.91921 | -9.54367 | -10.34040 | -5.85402 | 1.07408 |
| 4.0 | -1.61428 | -11.73070 | -17.91860 | -15.07550 | 9.24368 |

注：表中 y 为桩身计算截面的深度； α 为桩的变形系数。

数值表

附表 2-6

| B ₄ | C ₄ | D ₄ | B ₃ D ₄ -B ₄ D ₃ | A ₃ B ₄ -A ₄ B ₃ | B ₂ D ₄ -B ₄ D ₂ |
|----------------|----------------|----------------|--|--|--|
| 0.00000 | 0.00000 | 1.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 1.00000 |
| -0.00033 | -0.00001 | 1.00000 | 0.00002 | 0.00000 | 1.00000 |
| -0.00267 | -0.00020 | 0.99999 | 0.00040 | 0.00000 | 1.00004 |
| -0.00900 | -0.00101 | 0.99992 | 0.00203 | 0.00001 | 1.00029 |
| -0.02133 | -0.00320 | 0.99966 | 0.00640 | 0.00006 | 1.00120 |
| -0.04167 | -0.00781 | 0.99896 | 0.01563 | 0.00022 | 1.00365 |
| -0.07199 | -0.01620 | 0.99741 | 0.03240 | 0.00065 | 1.00917 |
| -0.11433 | -0.03001 | 0.99440 | 0.06006 | 0.00163 | 1.01962 |
| -0.17060 | -0.05120 | 0.98908 | 0.10248 | 0.00365 | 1.03824 |
| -0.24284 | -0.08198 | 0.98032 | 0.16426 | 0.00738 | 1.06893 |
| -0.33298 | -0.12493 | 0.96667 | 0.25062 | 0.01390 | 1.11679 |
| -0.44292 | -0.18285 | 0.94634 | 0.36747 | 0.02464 | 1.18823 |
| -0.57450 | -0.25886 | 0.91712 | 0.52158 | 0.04156 | 1.29111 |
| -0.72950 | -0.35631 | 0.87638 | 0.72057 | 0.06724 | 1.43498 |
| -0.90954 | -0.47883 | 0.82102 | 0.97317 | 0.10504 | 1.63125 |
| -1.11609 | -0.63027 | 0.74745 | 1.28938 | 0.15916 | 1.89349 |
| -1.35042 | -0.81466 | 0.65156 | 1.68091 | 0.23497 | 2.23776 |
| -1.61346 | -1.03616 | 0.52871 | 2.16145 | 0.33904 | 2.68296 |
| -1.90577 | -1.29909 | 0.37368 | 2.74734 | 0.47951 | 3.25143 |
| -2.22745 | -1.60770 | 0.18071 | 3.45833 | 0.66632 | 3.96945 |
| -2.57798 | -1.96620 | -0.05652 | 4.31831 | 0.91158 | 4.86824 |
| -3.35952 | -2.84858 | -0.69158 | 6.61044 | 1.63962 | 7.36356 |
| -4.22811 | -3.97323 | -1.59151 | 9.95510 | 2.82366 | 11.13130 |
| -5.14023 | -5.35541 | -2.82106 | 14.86800 | 4.70118 | 16.74660 |
| -6.02299 | -6.99007 | -4.44491 | 22.15710 | 7.62658 | 25.06510 |
| -6.76460 | -8.84029 | -6.51972 | 33.08790 | 12.13530 | 37.38070 |
| -6.78895 | -13.69240 | -13.82610 | 92.20900 | 36.85800 | 101.36900 |
| -0.35762 | -15.61050 | -23.14040 | 266.06100 | 109.01200 | 279.99600 |

| 换算 深度 $\bar{h}=\alpha y$ | A ₂ B ₄ -A ₄ B ₂ | A ₃ D ₄ -A ₄ D ₃ | A ₂ D ₄ -A ₄ D ₂ | A ₃ C ₄ -A ₄ C ₃ | A ₂ C ₄ -A ₄ C ₂ |
|--------------------------------|--|--|--|--|--|
| 0 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 0.1 | 0.00500 | 0.00033 | 0.00003 | 0.00500 | 0.00050 |
| 0.2 | 0.02000 | 0.00267 | 0.00033 | 0.02000 | 0.00400 |
| 0.3 | 0.04500 | 0.00900 | 0.00169 | 0.04500 | 0.01350 |
| 0.4 | 0.07999 | 0.02133 | 0.00533 | 0.08001 | 0.03200 |
| 0.5 | 0.12504 | 0.04167 | 0.01302 | 0.12505 | 0.06251 |
| 0.6 | 0.18013 | 0.07203 | 0.02701 | 0.18020 | 0.10804 |
| 0.7 | 0.24535 | 0.11443 | 0.05004 | 0.24559 | 0.17161 |
| 0.8 | 0.32091 | 0.17094 | 0.08539 | 0.32150 | 0.25632 |
| 0.9 | 0.40709 | 0.24374 | 0.13685 | 0.40842 | 0.36533 |
| 1.0 | 0.50436 | 0.33507 | 0.20873 | 0.50714 | 0.50194 |
| 1.1 | 0.61351 | 0.44739 | 0.30600 | 0.61893 | 0.66965 |
| 1.2 | 0.73565 | 0.58346 | 0.43412 | 0.74562 | 0.87232 |
| 1.3 | 0.87244 | 0.74650 | 0.59940 | 0.88991 | 1.11429 |
| 1.4 | 1.02612 | 0.94032 | 0.80887 | 1.05550 | 1.40059 |
| 1.5 | 1.19981 | 1.16960 | 1.07061 | 1.24752 | 1.73720 |
| 1.6 | 1.39771 | 1.44015 | 1.39379 | 1.47277 | 2.13135 |
| 1.7 | 1.62522 | 1.75934 | 1.78918 | 1.74019 | 2.59200 |
| 1.8 | 1.88946 | 2.13653 | 2.26933 | 2.06147 | 3.13039 |
| 1.9 | 2.19944 | 2.58362 | 2.84909 | 2.45147 | 3.76049 |
| 2.0 | 2.56664 | 3.11583 | 3.54638 | 2.92905 | 4.49999 |
| 2.2 | 3.53366 | 4.51846 | 5.38469 | 4.24806 | 6.40196 |
| 2.4 | 4.95288 | 6.57604 | 8.02219 | 6.28800 | 9.09220 |
| 2.6 | 7.07178 | 9.62890 | 11.82060 | 9.46294 | 12.97190 |
| 2.8 | 10.26420 | 14.25710 | 17.33620 | 14.40320 | 18.66360 |
| 3.0 | 15.09220 | 21.32850 | 25.42750 | 22.06800 | 27.12570 |
| 3.5 | 41.01820 | 60.47600 | 67.49820 | 64.76960 | 72.04850 |
| 4.0 | 114.72200 | 176.70600 | 185.99600 | 190.83400 | 200.04700 |

续附表

| $A_f = \frac{B_3D_4 - B_4D_3}{A_3B_4 - A_4B_3}$ | $B_f = \frac{A_3D_4 - A_4D_3}{A_3B_4 - A_4B_3}$ | $C_f = \frac{A_3C_4 - A_4C_3}{A_3B_4 - A_4B_3}$ | $\frac{B_2D_1 - B_1D_2}{A_2B_1 - A_1B_2}$ | $\frac{A_2D_1 - A_1D_2}{A_2B_1 - A_1B_2}$ | $\frac{A_2C_1 - C_1A_2}{A_2B_1 - A_1B_2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ∞ | ∞ | ∞ | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 3770.490 | 54098.400 | 819672.00 | 0.00033 | 0.00500 | 0.10000 |
| 424.771 | 2807.280 | 21028.600 | 0.00269 | 0.02000 | 0.20000 |
| 196.135 | 869.565 | 4347.970 | 0.00900 | 0.04500 | 0.30000 |
| 111.936 | 372.930 | 1399.070 | 0.02133 | 0.07999 | 0.39996 |
| 72.102 | 192.214 | 576.825 | 0.04165 | 0.12495 | 0.49988 |
| 50.012 | 111.179 | 278.134 | 0.07192 | 0.17893 | 0.59962 |
| 36.740 | 70.001 | 150.236 | 0.11406 | 0.24448 | 0.69902 |
| 28.108 | 46.884 | 88.179 | 0.16985 | 0.31867 | 0.79783 |
| 22.245 | 33.009 | 55.312 | 0.24092 | 0.40199 | 0.89562 |
| 18.028 | 24.102 | 36.480 | 0.32855 | 0.49374 | 0.99179 |
| 14.915 | 18.160 | 25.122 | 0.43351 | 0.59294 | 1.08560 |
| 12.550 | 14.039 | 17.941 | 0.55589 | 0.69811 | 1.17605 |
| 10.716 | 11.102 | 13.235 | 0.69488 | 0.80737 | 1.26199 |
| 9.265 | 8.952 | 10.049 | 0.84855 | 0.91831 | 1.34213 |
| 8.101 | 7.349 | 7.838 | 1.01382 | 1.02816 | 1.41516 |
| 7.154 | 6.129 | 6.268 | 1.18632 | 1.13380 | 1.47990 |
| 6.375 | 5.189 | 5.133 | 1.36088 | 1.23219 | 1.53540 |
| 5.730 | 4.456 | 4.300 | 1.53179 | 1.32058 | 1.58115 |
| 5.190 | 3.878 | 3.680 | 1.69343 | 1.39688 | 1.61718 |
| 4.737 | 3.418 | 3.213 | 1.84091 | 1.43979 | 1.64405 |
| 4.032 | 2.756 | 2.591 | 2.08041 | 1.54549 | 1.67490 |
| 3.526 | 2.327 | 2.227 | 2.23974 | 1.58566 | 1.68520 |
| 3.161 | 2.048 | 2.013 | 2.32965 | 1.59617 | 1.68665 |
| 2.905 | 1.869 | 1.889 | 2.37119 | 1.59262 | 1.68717 |
| 2.727 | 1.758 | 1.818 | 2.38547 | 1.58606 | 1.69051 |
| 2.502 | 1.641 | 1.757 | 2.38891 | 1.58435 | 1.71100 |
| 2.441 | 1.625 | 1.751 | 2.40074 | 1.59979 | 1.73218 |

桩身最大弯矩截面系

| 换算 深度 $h=\alpha y$ | C_1 | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | $\alpha h=4.0$ | $\alpha h=3.5$ | $\alpha h=3.0$ | $\alpha h=2.8$ | $\alpha h=2.6$ | $\alpha h=2.4$ |
| 0.0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| 0.1 | 131.252 | 129.489 | 120.507 | 112.954 | 102.805 | 90.196 |
| 0.2 | 34.186 | 33.699 | 31.158 | 29.090 | 26.326 | 22.939 |
| 0.3 | 15.544 | 15.2828 | 14.013 | 13.003 | 11.671 | 10.064 |
| 0.4 | 8.781 | 8.605 | 7.799 | 7.176 | 6.368 | 5.409 |
| 0.5 | 5.539 | 5.403 | 4.821 | 4.385 | 3.829 | 3.183 |
| 0.6 | 3.710 | 3.597 | 3.141 | 2.811 | 2.400 | 1.931 |
| 0.7 | 2.566 | 2.465 | 2.089 | 1.826 | 1.506 | 1.150 |
| 0.8 | 1.791 | 1.699 | 1.377 | 1.160 | 0.902 | 0.623 |
| 0.9 | 1.238 | 1.151 | 0.867 | 0.683 | 0.471 | 0.248 |
| 1.0 | 0.824 | 0.740 | 0.484 | 0.327 | 0.149 | -0.032 |
| 1.1 | 0.503 | 0.420 | 0.187 | 0.049 | -0.100 | -0.247 |
| 1.2 | 0.246 | 0.163 | -0.052 | -0.172 | -0.299 | -0.418 |
| 1.3 | 0.034 | -0.049 | -0.249 | -0.355 | -0.465 | -0.557 |
| 1.4 | -0.145 | -0.229 | -0.416 | -0.508 | -0.597 | -0.672 |
| 1.5 | -0.299 | -0.384 | -0.559 | -0.639 | -0.712 | -0.769 |
| 1.6 | -0.434 | -0.521 | -0.684 | -0.753 | -0.812 | -0.853 |
| 1.7 | -0.555 | -0.645 | -0.796 | -0.854 | -0.898 | -0.925 |
| 1.8 | -0.665 | -0.756 | -0.896 | -0.943 | -0.975 | -0.987 |
| 1.9 | -0.768 | -0.862 | -0.988 | -1.024 | -1.043 | -1.043 |
| 2.0 | -0.865 | -0.961 | -1.073 | -1.098 | -1.105 | -1.092 |
| 2.2 | -1.048 | -1.148 | -1.225 | -1.227 | -1.210 | -1.176 |
| 2.4 | -1.230 | -1.328 | -1.360 | -1.338 | -1.299 | 0 |
| 2.6 | -1.420 | -1.507 | -1.482 | -1.434 | 0.333 | |
| 2.8 | -1.635 | -1.692 | -1.593 | 0.056 | | |
| 3.0 | -1.893 | -1.886 | 0 | | | |
| 3.5 | -2.994 | 1.000 | | | | |
| 4.0 | -0.045 | | | | | |

注：表中 α 为桩的变形系数； y 为桩身计算截面的深度； h 为桩的入

数 C 、最大弯矩数 C_{I}

附表 2-7

| C_{I} | | | | | |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $ah=4.0$ | $ah=3.5$ | $ah=3.0$ | $ah=2.8$ | $ah=2.6$ | $ah=2.4$ |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1.001 | 1.001 | 1.001 | 1.001 | 1.001 | 1.001 |
| 1.004 | 1.004 | 1.004 | 1.005 | 1.005 | 1.006 |
| 1.012 | 1.013 | 1.014 | 1.015 | 1.017 | 1.019 |
| 1.029 | 1.030 | 1.033 | 0.036 | 1.040 | 1.047 |
| 1.057 | 1.059 | 1.066 | 1.073 | 1.083 | 1.100 |
| 1.101 | 1.105 | 1.120 | 1.134 | 1.158 | 1.196 |
| 1.169 | 1.176 | 1.209 | 1.239 | 1.291 | 1.380 |
| 1.274 | 1.289 | 1.358 | 1.426 | 1.549 | 1.795 |
| 1.441 | 1.475 | 1.635 | 1.807 | 2.173 | 3.230 |
| 1.728 | 1.814 | 2.252 | 2.861 | 5.076 | -18.277 |
| 2.299 | 2.562 | 4.543 | 14.411 | -5.649 | -1.684 |
| 3.876 | 5.349 | -12.716 | -3.165 | -1.406 | -0.714 |
| 23.438 | -14.587 | -2.093 | -1.178 | -0.675 | -0.381 |
| -4.596 | -2.572 | -0.986 | -0.628 | -0.383 | -0.220 |
| -1.876 | -1.265 | -0.574 | -0.378 | -0.233 | -0.131 |
| -1.128 | -0.772 | -0.365 | -0.240 | -0.146 | -0.078 |
| -0.740 | -0.517 | -0.242 | -0.157 | -0.091 | -0.046 |
| -0.530 | -0.366 | -0.164 | -0.103 | -0.057 | -0.026 |
| -0.396 | -0.263 | -0.112 | -0.067 | -0.034 | -0.014 |
| -0.304 | -0.194 | -0.076 | -0.042 | -0.020 | -0.006 |
| -0.187 | -0.106 | -0.033 | -0.015 | -0.005 | -0.001 |
| -0.118 | -0.057 | -0.012 | -0.004 | -0.001 | 0 |
| -0.074 | -0.028 | -0.003 | -0.001 | 0 | 0 |
| -0.045 | -0.013 | -0.001 | 0 | | |
| -0.026 | -0.004 | 0 | | | |
| -0.003 | 0 | | | | |
| -0.011 | | | | | |

土深度。当 $ah > 4.0$ 时,按 $ah=4.0$ 计算。

四、确定地震荷载下桩基计算参数和图式的几个问题

1. 当承台底面以上土层为液化层时,不考虑承台侧面土体的弹性抗力和承台底土的竖向弹性抗力与摩阻力,此时,令 $C_n=C_b=0$,按附表 2-5 高桩台公式计算。

2. 当承台底面以上为非液化层,而承台底面与承台底面下土体可能发生脱离时(承台底面以下有自重固结、自重湿陷、震陷、液化土层时),不考虑承台底地基土的竖向弹性抗力和摩阻力,只考虑承台侧面土体的弹性抗力,按附表 2-5 高桩台图式进行计算;但计算承台单位变位引起的桩顶、承台、地下墙体的反力和时,应考虑承台和地下墙体侧面土体弹性抗力的影响,参照附表 2-4 的步骤 5 的公式计算($C_b=0$)。

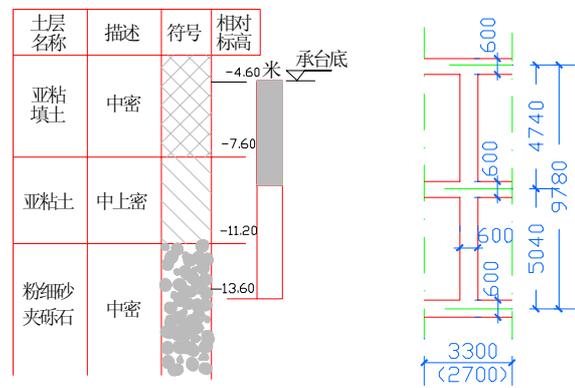
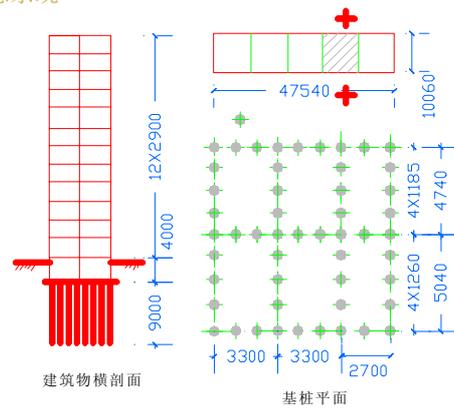
3. 当桩周 $2(d+1)$ 米深度内有液化夹层时,其水平抗力系数的比例系数综合计算值 \bar{m} ,以液化层的 $m=0$ 代入公式(附 2-1)或(附 2-2)中计算确定。

五、例题

考虑基桩、承台(包括地下侧墙)协同工作和土的弹性抗力作用,计算高大建筑物受地震水平力的桩基。

某高层住宅,结构为钢筋混凝土现浇地下室墙体和全部横墙,预制楼板,基础采用 $\varnothing 400$ 毫米、桩长 9 米的钻孔灌注桩,平面、竖向剖面和土层柱状图见附图 2-2,经单桩垂直静载试验求得单桩轴向受压极限荷载 $P_u=90$ 吨,整个建筑物承台底以上竖向荷载 $(N+G)=8650$ 吨,抗震设防为八度,试设计该桩基的基桩。

解:由于桩的承载力和桩身强度均由地震荷载组合起控制作用,故桩的承载力和桩身强度只按地震荷载组合计



附图 2-2

算。

(一)考虑地下室侧墙、承台与基桩协同工作和土的弹性抗力作用,计算地震荷载组合下的桩顶荷载和桩身内力(按附录二附表 2-4)。

1. 布桩:

$$\text{单桩轴向受压容许承载力 } P_a = \frac{P_u}{K_y} = \frac{90}{2} = 45 \text{ 吨}$$

设正常情况下单桩轴向压力达到其容许承载力的 85%, 则所需桩数为 $\frac{8650}{45 \times 85\%} = 226$ 根。考虑构造要求, 布桩 219 根(见附图 2-2)。

2. 确定荷载和计算图式

只对建筑物横向进行验算。

(1) 上部结构自振周期

按经验公式计算, 横向:

$$T_1 = 0.22 + 0.035 \frac{H}{\sqrt[3]{B}}$$

式中 H —— 房屋的高度(米);

B —— 验算方向房屋宽度(米)。

$$\begin{aligned} T_1 &= 0.22 + 0.035 \times \frac{38.8}{\sqrt[3]{10.06}} = 0.22 + 0.629 \\ &= 0.849 \text{ (秒)} \end{aligned}$$

(2) 结构底部(算至承台底)剪力

按 II 类场地土求地震影响系数 $\alpha_1 = \frac{0.3\alpha_{max}}{T_1}$

结构底部剪力

$$H = C\alpha_1(N+G) = 0.35 \times \frac{0.3 \times 0.45}{0.849} \times 8650$$

$$=481.4 \text{ 吨}$$

(3) 水平地震力对基底的力矩(为计算简便,地震力沿高度按倒三角形分布)

$$M = \frac{2}{3} H h_b = \frac{2}{3} \times 481.4 \times 38.8 = 12452 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

(4) 桩基计算图式:如附图 2-2。

3. 确定基本计算参数

(1) 地基土水平抗力系数的比例系数 m 、 m_0 根据表 2-3-14 采用:

桩周中密填土 $m=2000$ 吨/米⁴

地下室侧墙和承台侧面填土 $m=1000$ 吨/米⁴

承台底中密填土 $m_0=2000$ 吨/米⁴

桩底中密粉细砂夹砾石 $m_0=8000$ 吨/米⁴

(2) 桩的抗弯刚度 EI

桩身混凝土采用 150 号

$$EI = 0.85 E_s I = 0.85 \times 2.3 \times 10^6 \times \frac{3.14}{64} \times 0.4^4$$

$$= 2455 \text{ 吨} \cdot \text{米}^2$$

(3) 桩的变形系数 α

桩的计算宽度

$$b_0 = 0.9(1.5d + 0.5) = 0.9(1.5 \times 0.4 + 0.5)$$

$$= 0.99 \text{ 米}$$

变形系数

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} = \sqrt[5]{\frac{2000 \times 0.99}{2455}} = 0.96 \text{ 1/米}$$

(4) 桩底地基土竖向抗力系数

$$C_0 = m_0 h, h = 9 \text{ 米, 取 } C_0 = 10m_0 = 80000 \text{ 吨/米}^3$$

(5) 单桩桩底端承压面积 A_0

采用下列二值中较小者: ($\bar{\varphi}=20^\circ$)

$$A_0 = \pi \left(\text{htg} \frac{\bar{\varphi}}{4} + \frac{d}{2} \right)^2 = 3.14 \times \left(9 \text{tg} 5^\circ + \frac{0.40}{2} \right)^2 \\ = 3.06 \text{ 米}^2$$

$$A_0 = \frac{\pi}{4} S^2 = 3.14/4 \times (1.185)^2 = 1.10 \text{ 米}^2$$

采用 $A_0 = 1.10 \text{ 米}^2$

(6) 桩身轴力传布系数

取 $\xi_N = 0.75$

(7) 承台底地基土竖向抗力系数 C_b

由于地下室墙基条形承台在室内一侧的埋深与承台高度相等, $h'_n < 1$ 米, 故取

$$C_b = m_0 \times 1 = 2000 \times 1 = 2000 \text{ 吨/米}^3$$

(8) 承台地基土的摩擦系数 μ

按附表 2-2 硬塑亚粘填土取 $\mu = 0.30$

4. 求单位力作用于桩顶时, 桩顶产生的变位:

$$\text{由于 } h = 9 \text{ 米} > 2.5/\alpha \quad \frac{2.5}{\alpha} = \frac{2.5}{0.96} = 2.6 \text{ 米}$$

故取 $K_h = 0$

$$\text{又 } \bar{h} = \alpha h = 0.96 \times 9.0 = 8.64 > 4$$

按 $h = 4$ 计算

$$\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} A_f = \frac{2.441}{(0.96)^3 \times 2455} \\ = 1.124 \times 10^{-3} \text{ 米/吨}$$

$$\delta_{MH} = \frac{1}{\alpha^2 EI} B_f = \frac{1.625}{(0.96)^3 \times 2455}$$

$$= 0.719 \times 10^{-3} \text{ 1/吨}$$

$$\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} C_f = \frac{1.751}{0.96 \times 2455} = 0.743 \times 10^{-3} \text{ 1/吨} \cdot \text{米}$$

5. 求桩顶产生单位变位时,在桩顶引起的内力:

$$\begin{aligned} \rho_{NN} &= \frac{1}{\frac{\xi_N h}{EA} + \frac{1}{C_0 A_0}} \\ &= \frac{1}{\frac{0.75 \times 9}{2.3 \times 10^6 \times 0.785 \times 0.4^2} + \frac{1}{8 \times 10^4 \times 1.10}} \\ &= 2.879 \times 10^4 \text{ 吨/米} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{HH} &= \frac{\delta_{MM}}{\delta_{HH} \delta_{MM} - \delta_{MH}^2} \\ &= \frac{0.743 \times 10^{-3}}{1.124 \times 0.743 \times 10^{-6} - (0.719 \times 10^{-3})^2} \\ &= 2.246 \times 10^3 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{MH} &= \frac{\delta_{MH}}{\delta_{HH} \delta_{MM} - \delta_{MH}^2} = \frac{0.718 \times 10^{-3}}{0.320 \times 10^{-6}} \\ &= 2.246 \times 10^3 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\rho_{HM} = \rho_{MH} = 2.246 \times 10^3 \text{ 吨}$$

$$\begin{aligned} \rho_{MM} &= \frac{\delta_{HH}}{\delta_{HH} \delta_{MM} - \delta_{MH}^2} = \frac{1.124 \times 10^{-3}}{0.320 \times 10^{-6}} \\ &= 3.517 \times 10^2 \text{ 吨} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

6. 求承台发生单位变位时,各桩顶、承台和地下室侧墙引起的反力和。

先计算 A_b, F^c, S^c, I^c, I_b

$$\begin{aligned} A_b = F - nA &= 0.6 \times [10.38 \times 16 + (47.54 - 0.6 \times 16) \\ &\quad \times 3] - 219 \times \frac{3.14}{4} \times (0.4)^2 = 167.94 - 27.51 \end{aligned}$$

$$=140.43 \text{ 米}^2$$

$$F^c = \frac{C_n h_n}{2} = \frac{m h_n^2}{2} = \frac{1000 \times 2^2}{2} = 2000 \text{ 吨 / 米}^2$$

(地下室外纵墙有沿墙坡道和窗井,故侧墙有效高度 h_n 取 2 米)

$$S^c = \frac{C_n h_n^2}{6} = \frac{m h_n^3}{6} = \frac{1000 \times 2^3}{6}$$

$$= 1.333 \times 10^3 \text{ 吨 / 米}$$

$$I^c = \frac{C_n h_n^3}{12} = \frac{m h_n^4}{12} = \frac{1000 \times 2^4}{12}$$

$$1.333 \times 10^3 \text{ 吨 / 米}$$

$$I_b = I_F - \Sigma A K_i x_i^2$$

为简化计算,桩群形心位置近似看成与中间纵墙轴线重合,则

$$\begin{aligned} \Sigma K_i x_i^2 &= 16[(1.26)^2 + (2 \times 1.26)^2 + (3 \times 1.26)^2 \\ &\quad + (4 \times 1.26)^2 + (1.185)^2 + (2 \times 1.185)^2 \\ &\quad + (3 \times 1.185)^2 + (4 \times 1.185)^2] \\ &\quad + 25[(4 \times 1.26)^2 + (4 \times 1.185)^2] \\ &= 1436 + 1197 = 2633 \text{ 米}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_F &= 16 \times \frac{0.6 \times (10.38)^3}{12} + 10 \left[\frac{2.7 \times (5.04^3 - 4.44^3)}{3} \right. \\ &\quad \left. + \frac{2.7 \times (5.34^3 - 4.74^3)}{3} + \frac{2.7 \times 0.6^3}{12} \right] \\ &\quad + 5 \left[\frac{2.1 \times (5.04^3 - 4.44^3)}{3} \right. \\ &\quad \left. + \frac{2.1 \times (5.34^3 - 4.74^3)}{3} + \frac{2.1 \times 0.6^3}{12} \right] \end{aligned}$$

$$=894.7 + 776.9 + 302.1 = 1974 \text{ 米}^4$$

$$I_b = I_F - \sum AK_i x_i^2 = 1974 - \frac{3.14}{4} \times 0.4^2 \times 2633$$

$$= 1643 \text{ 米}^4$$

$$v_v = n \rho_{NN} + C_b A_b = 219 \times 2.879 \times 10^4 + 2 \times 10^3$$

$$\times 140.1 = 6.59 \times 10^6 \text{ 吨/米}$$

$$u_v = \mu C_b A_b = 0.30 \times 2 \times 10^3 \times 140.1 = 8.41$$

$$\times 10^4 \text{ 吨/米}$$

$$u_u = n \rho_{HH} + B_o F^c = 219 \times 2.325 \times 10^3 + (47.54 + 1)$$

$$\times 2 \times 10^3 = 6.06 \times 10^5 \text{ 吨/米}$$

$$u_w = -n \rho_{MH} + B_o S^c = -219 \times 2.246 \times 10^3 + 48.54$$

$$\times 1.333 \times 10^3 = -4.273 \times 10^5 \text{ 吨}$$

$$u_{\beta} = \gamma_{BU} = -4.273 \times 10^{-5} \text{ 吨}$$

$$\beta_{\beta} = n \rho_{MM} + \rho_{NN} \sum K_i x_i^2 + B_o I^c + C_b I_b$$

$$= 219 \times 0.3517 \times 10^4 + 2.879 \times 10^4 \times 2633$$

$$+ 48.54 \times 1.333 \times 10^3 + 2 \times 10^3 \times 1642$$

$$= 7.99 \times 10^7 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

7. 求承台变位

$$\text{竖向 } V = \frac{N+G}{v_v} = \frac{8650}{6.59 \times 10^6} = 1.313 \times 10^{-3} \text{ 米}$$

$$= 1.313 \text{ 毫米}$$

$$\text{水平向 } U = \frac{\beta_{\beta} H - u_{\beta} M}{u_u \beta_{\beta} - u_{\beta}^2} - \frac{u_v \beta_{\beta} (N+G)}{v_v (u_u \beta_{\beta} - u_{\beta}^2)}$$

$$= \frac{7.99 \times 10^7 \times 481.4 + 4.273 \times 10^5 \times 1.245 \times 10^4}{6.06 \times 10^5 \times 7.99 \times 10^7 - (-4.273 \times 10^5)^2}$$

$$- \frac{8.41 \times 10^4 \times 7.99 \times 10^7 \times 8650}{6.59 \times 10^6 \times [6.06 \times 7.99 \times 10^{12} - (-4.273 \times 10^5)^2]}$$

$$= 0.725 \times 10^{-3} \text{ 米} = 0.725 \text{ 毫米}$$

$$\begin{aligned} \text{转角 } \beta &= \frac{uvM - u_{\beta}H}{uv \rho_{\beta} - \frac{2}{u_{\beta}}} + \frac{uv u_{\beta}(N+G)}{vv \left(uv \rho_{\beta} - \frac{2}{u_{\beta}} \right)} \\ &= \frac{6.06 \times 10^5 \times 1.245 \times 10^4 + 4.273 \times 10^5 \times 481.4}{4.82 \times 10^{13}} \\ &\quad + \frac{8.41 \times (-4.273) \times 10^9 \times 8650}{3.18 \times 10^{20}} \\ &= 1.60 \times 10^{-4} \text{ 弧度} \end{aligned}$$

8. 求任一桩顶内力

(1) 轴向力

$$N_{oi} = (V \pm \beta x_i) \rho_{NN}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{omax}} &= (1.313 \times 10^3 + 1.60 \times 10^{-4} \times 5.04) \\ &\quad \times 2.879 \times 10^4 = 61.02 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{omin}} &= (1.313 \times 10^3 - 1.60 \times 10^{-4} \times 5.04) \\ &\quad \times 2.879 \times 10^4 = 14.59 \text{ 吨} \end{aligned}$$

(2) 横向力

$$H_0 = U \rho_{HH} - \beta \rho_{HM}$$

$$\begin{aligned} &= 0.725 \times 10^{-3} \times 2.325 \times 10^3 - 1.60 \times 10^{-4} \\ &\quad \times 2.246 \times 10^3 = 1.33 \text{ 吨} \end{aligned}$$

(3) 弯矩

$$M_0 = \beta \rho_{MM} - U \rho_{MH}$$

$$\begin{aligned} &= 1.60 \times 10^{-4} \times 3.517 \times 10^3 - 0.725 \times 10^{-3} \\ &\quad \times 2.246 \times 10^3 = -1.07 \text{ 吨} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

9. 求承台和地下室纵侧墙的弹性抗力

(1) 水平抗力

$$\begin{aligned} H_E &= UB_0F^c + \beta B_0S^c \\ &= 0.725 \times 10^{-3} \times 48.54 \times 2000 + 1.60 \times 10^{-4} \\ &\quad \times 48.54 \times 1.33 \times 10^3 = 80.74 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\frac{H_E}{H} = \frac{80.74}{481.4} = 17\%$$

(2)反弯矩

$$\begin{aligned} M_E &= UB_0S^c + \beta B_0I^c \\ &= 0.725 \times 10^{-3} \times 48.54 \times 1.333 \times 10^3 + 1.60 \\ &\quad \times 10^{-4} \times 48.54 \times 1333 = 57.26 \text{ 吨} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

$$\frac{M_E}{M} = \frac{57.26}{12452} = 0.46\%$$

10. 求承台底地基土的弹性抗力和摩阻力

(1)竖向抗力

$$\begin{aligned} N_b &= VC_bA_b = 1.313 \times 10^{-3} \times 2000 \times 140.1 \\ &= 367.9 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\frac{N_b}{N} = \frac{367.9}{8650} = 4.3\%$$

(2)水平摩阻力

$$H_b = \mu N_b = 0.30 \times 367.9 = 110.37 \text{ 吨}$$

$$\frac{H_b}{H} = \frac{110.37}{481.4} = 22.9\%$$

(3)反弯矩

$$\begin{aligned} M_b &= \beta C_b I_b = 1.60 \times 10^{-4} \times 2000 \times 1642 \\ &= 525.4 \text{ 吨} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

$$\frac{M_b}{M} = \frac{525.4}{12452} = 4.2\%$$

11. 校核水平力计算结果

$$\begin{aligned}\sum H' &= H_E + H_0 + \sum H_i = 80.74 + 110.37 + 219 \\ &\times 1.33 = 482.38 \text{ 吨} \approx H = 481.40 \text{ 吨}\end{aligned}$$

12. 求桩身最大弯矩

$$C_I = \frac{\alpha M_0}{H_0} = \frac{0.96 \times (-1.07)}{1.33} = -0.772$$

根据 $C_I, ah \geq 4$ 查附表 2-7, 得 $\alpha y = 1.91$,

$$C_{\alpha} = -0.39$$

桩身最大弯矩:

$$\begin{aligned}M_{\max} &= C_I M_0 = -0.39 \times (-1.07) \\ &= 0.417 \text{ 吨} \cdot \text{米}\end{aligned}$$

由于 $|M_{\max}| < |M_0| = 1.07 \text{ 吨} \cdot \text{米}$

因此,按桩顶固端弯矩进行桩身强度验算。

按第 2-3-18 条,考虑构造上的差异和塑性重分布效应,桩顶固端弯矩应乘以 0.7~0.8 进行调整,因此桩身设计内力采用

$$M'_0 = 0.8 M_0 = 0.8 \times 1.07 = 0.856 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

$$N_0 = 61.02 \text{ 吨}$$

$$H_0 = 1.33 \text{ 吨}$$

(二)验算单桩轴向受压承载力和桩身强度

1. 验算单桩轴向受压承载力

按第 2-3-6 条 $N_{1\max} \leq 1.5 P_{\alpha}$

$$61.02 \leq 1.5 \times 45 = 67.5 \text{ 吨(可)}$$

2. 验算桩身强度

基桩的计算长度(由附表 3-1)

$$l_c = 0.5 \times \frac{4.0}{\alpha} = 0.5 \times \frac{4.0}{0.96} = 2.08 \text{ 米}$$

$$\therefore \frac{l_c}{d} = \frac{2.08}{0.4} = 5.2 < 7$$

$$\therefore \eta = 1$$

桩身配置 $6\phi 12$, 纵向钢筋 $A_g = 6.78$ 厘米², 保护层 3 厘米。

按苏联 $\frac{\Pi 123-55}{\text{MCTIMXII}}$ 规程验算桩身偏心受压强度:

$$\text{根据 } \alpha_1 = \frac{R_g A_g}{R_w A} = \frac{2400 \times 6.78}{1050 \times 1260} = 0.1235$$

$$\frac{e_o}{d} \eta = \frac{M}{N d} \eta = \frac{0.856}{61.02 \times 0.4} \times 1 = 0.0351$$

$$\alpha = 0.036 \approx 0.08d$$

查该规程附录 2 表 31 得

$$n_1 = 0.829$$

$$n_1 A R_w = 0.829 \times 0.126 \times 1050 = 109.6 \text{ 吨}$$

$$KN = 1.55 \times 0.8 \times 61.02 = 75.7 \text{ 吨} < n_1 A R_w$$

$$= 109.6 \text{ 吨} \quad (\text{可以})$$

按《钢筋混凝土结构设计规范》TJ10-74 第 60 条验算桩身偏心受压强度:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{KN + R_g A_g}{R_w A + 2R_g A_g} \\ &= \frac{1.55 \times 61020 + 2400 \times 6.78}{105 \times 1256 + 2 \times 2400 \times 6.78} \\ &= \frac{110853}{164424} = 0.674 > 0.5 \quad (\text{为小偏心受压} \end{aligned}$$

构件)

$$e_o = \frac{M}{N} = \frac{0.856}{61.02} = 0.014 \text{ 米}$$

$$\therefore e_o < e_g = 0.17 \text{ 米}$$

$$\begin{aligned} \therefore n_g &= 1 - \frac{e_g}{3} = 1 - \frac{0.014}{3 \times 0.17} \\ &= 1 - 0.027 = 0.973 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} KN(e_o + e_g) &= 1.55 \times 61.02 \times (0.014 + 0.17) \\ &= 17.40 \text{ 吨} \cdot \text{米} \\ &< (R_a A + n_g R'_g A_g) \\ &= (850 \times 0.126 + 0.973 \times 24000) \\ &\quad \times 0.000678 \times 0.17 \\ &= 20.90 \text{ 吨} \cdot \text{米} \quad (\text{可以}) \end{aligned}$$

按本规程方法验算桩身偏心受压强度：

$$e_g / e_o = 0.17 / 0.20 = 0.85 > 0.8$$

$$\beta_w = \frac{A_g R_g}{A R_w} = \frac{6.78 \times 2400}{1256 \times 105} = 0.123 < 0.37$$

$$\begin{aligned} N_0 = R_a A + R_g A_g &= 85 \times 1256 + 2400 \times 6.78 \\ &= 123.0 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$N_j = 0.5 R_w A = 0.5 \times 105 \times 1256 = 65.9 \text{ 吨}$$

$$\begin{aligned} e_{of} &= \frac{4}{\pi} \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{3} + \beta_w \right) e_o \right] \\ &= \frac{4}{3.14} \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{3} \times \frac{0.20}{0.17} + 0.123 \right) \right] \times 0.17 = 0.11 \text{ 米} \end{aligned}$$

$$e_o = \frac{M}{N} = \frac{0.856}{61.02} = 0.014 \text{ 米}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_o}{1 + \left(\frac{N_o}{N_f} - 1 \right) \frac{e_o}{e_{of}}} &= \frac{123.0}{1 + \left(\frac{123.0}{65.9} - 1 \right) \frac{0.014}{0.11}} \\ &= 110.75 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} > KN = 1.55 \times 0.8 \times 61.02 = 75.7 \text{ 吨} \\ (\text{可以}) \end{aligned}$$

附录三 基桩计算长度和桩身纵向弯曲系数

基桩的计算长度 l_c

附表 3-1

| 桩 顶 铰 接 | | | | 桩 顶 固 接 | | | |
|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|
| 桩底支于非岩石土中 | | 桩底嵌于岩石内 | | 桩底支于非岩石土中 | | 桩底嵌于岩石内 | |
| $h < \frac{4.0}{\alpha}$ | $h \geq \frac{4.0}{\alpha}$ |
| | | | | | | | |
| $l_c = 1.0$ $(l_0 + h)$ | $l_c = 0.7$ $(l_0 + \frac{4.0}{\alpha})$ | $l_c = 0.7$ $(l_0 + h)$ | $l_c = 0.7$ $(l_0 + \frac{4.0}{\alpha})$ | $l_c = 0.7$ $(l_0 + h)$ | $l_c = 0.5$ $(l_0 + \frac{4.0}{\alpha})$ | $l_c = 0.5$ $(l_0 + h)$ | $l_c = 0.5$ $(l_0 + \frac{4.0}{\alpha})$ |

注：表中 $\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$ 详见第 2-3-14 条；

l_0 为高桩台基桩露出地面的长度。

桩身纵向弯曲系数 φ 附表 3-2

| l_c/d | φ | l_c/d | φ |
|----------|-----------|---------|-----------|
| ≤ 7 | 1.0 | 24 | 0.56 |
| 8.5 | 0.98 | 26 | 0.52 |
| 10.5 | 0.95 | 28 | 0.48 |
| 12 | 0.92 | 29.5 | 0.44 |
| 14 | 0.87 | 31 | 0.40 |
| 15.5 | 0.81 | 33 | 0.36 |
| 17 | 0.75 | 34.5 | 0.32 |
| 19 | 0.70 | 36.5 | 0.29 |
| 21 | 0.65 | 38 | 0.26 |
| 22.5 | 0.60 | 40 | 0.23 |

注：表中 l_c ——桩的计算长度，按附表 3-1 确定；
 d ——桩的设计直径。

附录四 按倒置弹性地基梁 计算墙下条形桩基承台梁

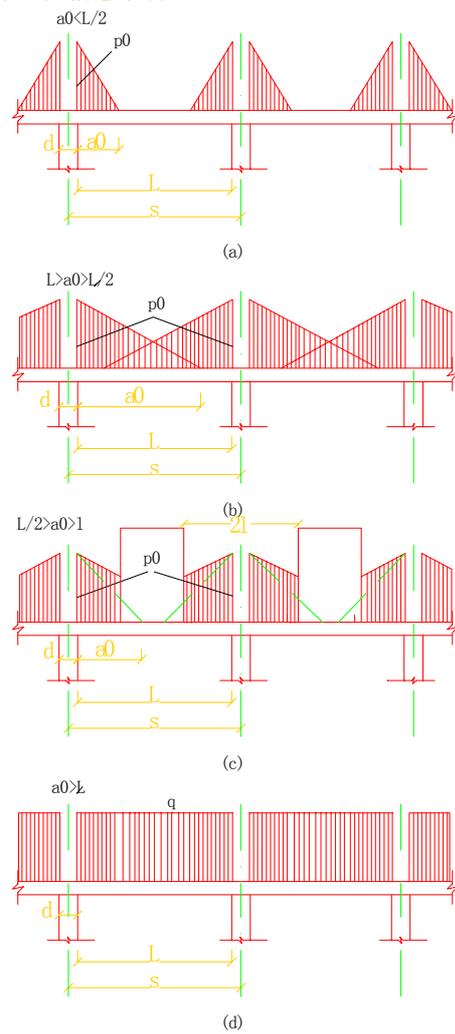
按倒置弹性地基梁计算墙下条形桩基连续承台梁时，先求得作用于梁上的荷载，然后按普通连续梁计算其弯矩和剪力。弯矩和剪力的计算公式根据附图 4-1 所示计算简图，分别按附表 4-1 采用。

墙下条形桩基连续承台梁内力计算公式

附表 4-1

| 内 力 | 计算简图编号 | 内 力 计 算 公 式 |
|---------|-------------|---|
| 支 座 弯 矩 | (a)、(b)、(c) | $M = -P_0 \frac{\alpha_0^2}{12} \left[2 - \frac{\alpha_0}{L_c} \right]$ (附 4-1) |
| | (d) | $M = -\frac{qL_c^2}{12}$ (附 4-2) |
| 跨 中 弯 矩 | (a)、(c) | $M = P_0 \frac{\alpha_0^2}{12L_c}$ (附 4-3) |
| | (b) | $M = \frac{P_0}{12} \left[L_c (6\alpha_0 - 3L_c + 0.5 \frac{L_c^2}{\alpha_0}) - \alpha_0^2 (4 - \frac{\alpha_0}{L_c}) \right]$ (附 4-4) |
| | (d) | $M = \frac{qL_c^2}{24}$ (附 4-5) |
| 最 大 剪 力 | (a)、(b)、(c) | $Q = \frac{P_0 \alpha_0}{2}$ (附 4-6) |
| | (d) | $Q = \frac{qL}{2}$ (附 4-7) |

注：当连续承台梁少于 6 跨时，其支座与跨中弯矩应按实际跨数和附图 4-1 求计算公式。



附图 4-1 墙下连续承台梁计算简图

公式附 4-1~附 4-7 中:

q_0 ——线荷载的最大值(吨/米),按下式确定:

$$q_0 = \frac{qL_0}{\alpha_0} \quad (\text{附 4-8})$$

α_0 ——自桩边算起的三角形荷载图形的底边长度(米),分别按下列公式确定:

$$\text{中间跨} \quad \alpha_0 = 3.14 \sqrt[3]{\frac{E_n I}{E_k b_k}} \quad (\text{附 4-9})$$

$$\text{边跨} \quad \alpha_0 = 2.4 \sqrt[3]{\frac{E_n I}{E_k b_k}} \quad (\text{附 4-10})$$

L_c ——计算跨度(米), $L_c = 1.05L$;

L ——两相邻桩之间的净距(米);

q ——承台梁底面以上的均布荷载(吨/米);

$E_n I$ ——承台梁的抗弯刚度(吨·米²);

E_n ——承台梁混凝土弹性模量(吨/米²);

I ——承台梁横截面的惯性矩(米⁴);

E_k ——墙体的弹性模量(吨/米²);

b_k ——墙体的宽度(米)。

当门窗口下布有桩,且承台梁顶面至门窗口的砌体高度小于门窗口的净宽时,则应按倒置的简支梁计算该段梁的弯矩,即取门窗净宽的 1.05 倍为计算跨度,取门窗口下桩顶荷载为计算集中荷载进行计算。

附录五 受地震水平力的一般 建筑物桩基设计计算举例

五层砖混结构住宅,采用 24 厘米砖横墙承重,37 厘米砖外墙,13.5 厘米厚钢筋混凝土空心板楼盖,配筋加气混凝土屋盖,上做二毡三油防水层,开间 3.3 米,层高 2.9 米,按 8 度抗震设防,地面以下有 2 米厚人工填土,基础采用直径 32 厘米、桩长 6 米的钻孔灌注桩,单桩轴向受压极限荷载经垂直静载试验确定为 34 吨,试设计该建筑物桩基(见附图 5-1)。

解

(一) 荷载计算

承台梁:外纵墙承台梁暂选 30×40 厘米现浇连续承台梁;内纵墙暂选 30×35 厘米现浇连续承台梁。

1. 正常情况:

恒载:

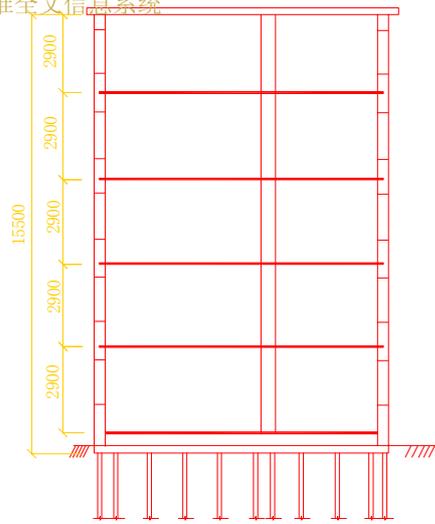
配筋加气混凝土屋盖: $q_1=0.26 \times 3.3=0.86$ 吨/米

二至五层空心楼板自重: $q_2=4 \times 0.28 \times 3.3=3.7$ 吨/米

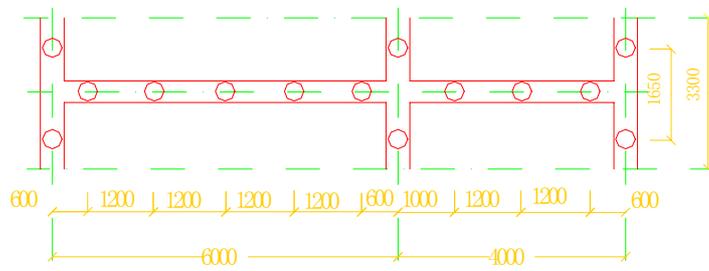
纵墙承台梁自重: $q_3=2.5 \times 0.30 \times 0.4=0.30$ 吨/米

横墙承台梁自重: $q'_3=2.5 \times 0.30 \times 0.35=0.262$ 吨/米

24 厘米墙与抹灰自重: $q_4=5 \times 0.528 \times (2.9-0.135) + 0.528 \times (1-0.3)=7.67$ 吨/米



建筑物横剖面图



横墙基桩平面

附图 5-1

37 厘米墙与抹灰自重:(外纵墙按 2/3 墙面积为砖墙重,1/3 墙面积为窗重计算)

$$q'_4 = 2/3 \times 0.775 \times 5 \times 2.9 + 0.775 \times (1 - 0.30) = 8.03 \text{ 吨/米}$$

$$\text{木框玻璃窗重: } q_5 = 1/3 \times 0.03 \times 5 \times 2.9 = 0.145 \text{ 吨/米}$$

活载:

$$\text{屋面: } 0.05 \times 3.3 \times 4 \times 0.7 = 0.116 \text{ 吨/米}$$

$$\text{二至五层楼面: } 0.15 \times 3.3 \times 4 \times 0.7 = 1.39 \text{ 吨/米}$$

$$\text{横墙承台线荷载: } q = 0.86 + 3.7 + 0.262 + 7.67 + 0.116 + 1.39 = 14 \text{ 吨/米}$$

$$\text{内纵墙承台线荷载: } q = 0.262 + 7.67 = 7.93 \text{ 吨/米}$$

$$\text{外纵墙承台线有载: } q = 0.30 + 8.03 + 0.145 = 8.48 \text{ 吨/米}$$

$$\text{每一开间总垂直荷载: } N + G = 14 \times (10 - 0.37) + 7.93 \times (3.3 - 0.24) + 8.48 \times 3.3 \times 2 = 215.05 \text{ 吨}$$

2. 地震荷载:

承台底水平剪力:(产生地震荷载的建筑物总重量(N+G)'仅计算底层 1/2 高度以上建筑物重量)

$$\begin{aligned} (N+G)' &= 215.05 - [0.262 + 0.528 \times (2.9 - 0.135) \\ &\quad \times \frac{1}{2} + 0.528 \times 0.70] \times (10 - 0.37) \\ &\quad - [0.262 + 0.528 \times (2.9 - 0.135) \times \frac{1}{2} \\ &\quad + 0.528 \times 0.70] \times (3.3 - 0.24) - [0.30 \end{aligned}$$

$$+0.775 \times 2.9 \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} + 0.03 \times 2.9 \\ \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} + 0.528 \times 0.70] \times (3.3 \times 2) \\ = 186.75 \text{ 吨}$$

$$\sum H_i = C\alpha_1(N+G)' = C\alpha_{\max}(N+G)' \\ = 0.45 \times 0.45 \times 186.75 = 37.8 \text{ 吨}$$

根据经验,对基底剪力计算值进行调整(乘 0.7~0.

75)后作用于基桩桩顶:

$$H_o = 37.8 \times 75\% = 28.35 \text{ 吨}$$

单桩横向力

$$H_i = \frac{H_o}{n} = \frac{28.35}{14} = 2.03 \text{ 吨}$$

结构水平惯性力对承台底产生的弯矩

$$M_y = \frac{2}{3} H h_b = \frac{2}{3} \times 28.35 \times 15.5 = 292.95 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

(二)布桩

单桩轴向受压容许承载力

$$P_a = \frac{34}{2} = 17 \text{ 吨}$$

每一开间所需桩数

$$\frac{(N+G)}{P_a} = \frac{215.05}{17} = 12.7 \text{ 根}$$

考虑地震荷载影响,每开间布桩 14 根。

(三)验算基桩轴向受压承载力

由于地震荷载组合起控制作用,故只验算建筑物的横向受地震水平力作用时基桩的承载力。

求一开间桩群的形心(见附图 5-1),设形心的 x 轴与横墙轴线重合, y 轴位于纵墙轴线之左 x_0 处,则有:

$$7 \times (0.6 - x_0) + 1.2 + 2.4 + 3.6 + 4.8 + 2 \times 5.4 \\ = 7x_0 + 1.0 + 2.2 + 3.4 + 2 \times 4.0$$

$$x_0 = \frac{12.4}{14} = 0.89 \text{ 米}$$

$$\sum x_j^2 = 2 \times (5.11)^2 + (4.51)^2 + (3.31)^2 + (2.11)^2 \\ + (0.91)^2 + (0.29)^2 + 2 \times (0.89)^2 + (1.89)^2 \\ + (3.09)^2 + (4.29)^2 + 2 \times (4.89)^2 = 169.82 \text{ 米}^2$$

$$N_{1max, min} = \frac{(N+G)}{n} \pm \frac{\sum M_y x}{\sum x_j^2} \\ = \frac{215.05}{14} \pm \frac{292.95 \times 5.11}{169.82} = \frac{24.18}{6.55} \text{ 吨}$$

根据第 2-3-6 条地震荷载下应满足: $N_{1max} \leq 1.5P_a$

$P'_a = 1.5P_a = 1.5 \times 17 = 25.5 \text{ 吨} > N_{1max} = 24.18 \text{ 吨}$ 由第 2-2-1 条

$0.48R_{ad}^2 = 0.48 \times 850 \times (0.32)^2 = 42 \text{ 吨} > N_{1max}$ 故桩身采用 150 号混凝土,不需配抗压筋。

(四)验算基桩横向承载力

考虑抗震要求,桩身按配筋率为 0.5% 配抗弯钢筋。

$$A_g = 0.005 \times 0.785 \times 32^2 = 4.02 \text{ 厘米}^2$$

采用 $6\text{Ø}10, A'_g = 6 \times 0.785 \times 1^2 = 4.71 \text{ 厘米}^2 > A_g$

桩身钢筋保护层采用 3 厘米。

按第 2-2-1 及 2-2-5 条配筋长度:

$$l_g = \frac{4.0}{\alpha} + 30d_g$$

其中
$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}}$$

根据表 2-3-14 中密填土取

$$m = 3000 \text{ 吨/米}^4$$

$$b_0 = 0.9(1.5 \times 0.32 + 0.5) = 0.882 \text{ 米}$$

$$\begin{aligned} W_0 &= \frac{\pi d}{32} [d^2 + 2(n-1)\mu_g d^2] \\ &= \frac{3.14 \times 0.32}{32} [0.32^2 + 2(8.1-1) \\ &\quad \times 0.00586 \times 0.25^2] = 3.38 \times 10^{-3} \text{ 米}^3 \end{aligned}$$

$$I = W_0 \frac{d}{2} = 3.38 \times 10^{-3} \times \frac{0.32}{2} = 5.41 \times 10^{-4} \text{ 米}^4$$

$$\begin{aligned} EI &= 0.85E_s I = 0.85 \times 2.3 \times 10^6 \times 5.41 \times 10^{-4} \\ &= 1058 \text{ 吨} \cdot \text{米}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} = \sqrt[5]{\frac{3000 \times 0.882}{1058}} = 1.20 \text{ 1/米}$$

$$l_g = \frac{4.0}{1.20} + 30 \times 0.01 = 3.63 \text{ 米}$$

单桩横向容许承载力按(2-3-12-2)式确定:

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{\alpha R_f W_0}{\xi_M \eta v_M} (1.25 + 22\mu_g) \left(1 + \frac{0.9N_1}{R_f A_n} \right) \\ \alpha h &= 1.20 \times 6.0 = 7.2 > 4.0 \end{aligned}$$

由表 2-3-11 得 $v_M = 0.926$

$$\therefore M_{max} = \frac{H_1 v_M}{\alpha} = \frac{2.03 \times 0.926}{1.20} = 1.566 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

$$\text{偏心距 } e_0 = \frac{M_{max}}{N} = \frac{1.566}{6.56} = 0.239 \text{ 米}$$

$$\text{按附录三 } l_0 = 0.5 \times \frac{4.0}{\alpha} = 0.5 \times \frac{4.0}{1.20} = 1.67 \text{ 米}$$

$$\begin{aligned} \text{按第 2-3-11 条 } \alpha_B &= \frac{0.1}{0.3 + \frac{e_0}{d}} + 0.143 \\ &= \frac{0.1}{0.3 + \frac{0.239}{0.32}} + 0.143 = 0.24 \end{aligned}$$

偏心距增大系数

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{1 - \frac{KN_1}{10\alpha_B E_k I_0^2}} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{1.55 \times 6.66 \times (1.67)^2}{10 \times 0.24 \times 2.3 \times 10^6 \times 5.41 \times 10^{-4}}} = 1.01 \\ \therefore H_a &= \frac{2 \times 1.20 \times 130 \times 3.38 \times 10^{-3}}{0.9 \times 1.01 \times 0.926} (1.25 + 22 \\ &\quad \times 0.00586) \left(1 + \frac{0.9 \times 5.89}{2 \times 130 \times 0.08} \right) \\ &= 2.17 \text{ 吨} > H_1 = 2.03 \text{ 吨} \end{aligned}$$

(五) 计算承台内力

承台采用 200 号混凝土, 钢筋采用 I 级、 $R_g = 2400$ 公斤/厘米², 上部砖砌体用 75 号砖, 50 号混合砂浆砌筑, $R = 27$ 公斤/厘米², $E_k = 800R = 800 \times 27 = 2.16 \times 10^5$ 吨/米²

1. 纵墙承台

$$L = 1.65 - 0.32 = 1.33 \text{ 米}$$

$$L_0 = 1.05 \times 1.33 = 1.40 \text{ 米}$$

(1) 中间跨

$$\alpha_0 = 3.14 \sqrt[3]{\frac{E_n I}{E_k b_k}} = 3.14 \sqrt[3]{\frac{2.6 \times 10^6 \times 0.4 \times (0.3)^3}{2.16 \times 10^5 \times 0.37 \times 12}}$$

$$= 0.937 \text{ 米}$$

∵ $L/2 < \alpha_0 < L$, 属附图 4-1(b)

按公式(附 4-8)

$$p_0 = \frac{qL_c}{\alpha_0} = \frac{8.48 \times 1.40}{0.967} = 12.28 \text{ 吨/米}$$

支座弯矩按公式(附 4-1)

$$M = -\frac{p_0 \alpha_0^2}{12} \left[2 - \frac{\alpha_0}{L_c} \right] = -\frac{12.28 \times (0.967)^2}{12}$$

$$\times \left[2 - \frac{0.967}{1.4} \right] = -1.25 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

跨中弯矩按公式(附 4-4)

$$M = \frac{p_0}{12} \left[L_c \left(6\alpha_0 - 3L_c + 0.5 \frac{L_c^2}{\alpha_0} \right) - \alpha_0^2 \left(4 - \frac{\alpha_0}{L_c} \right) \right]$$

$$= \frac{12.28}{12} \left[1.4 \left(6 \times 0.967 - 3 \times 1.4 + 0.5 \times \frac{1.4^2}{0.967} \right) \right.$$

$$\left. - (0.967)^2 \times \left(4 - \frac{0.967}{1.4} \right) \right] = 0.58 \text{ 吨} \cdot \text{米}$$

(2) 边跨

$$\alpha_0 = 2.4 \sqrt[3]{\frac{E_n I}{E_k b_k}} = 0.739 \text{ 米} \quad \text{属附图 4-1(b)}$$

$$p_0 = \frac{qL_0}{\alpha_0} = \frac{8.48 \times 1.4}{0.739} = 16.06 \text{ 吨/米}$$

边跨端支座 $M=0$

$$\begin{aligned} \text{离端第二支座 } M &= \frac{-p_0 \alpha_0^2}{12} \left(2 - \frac{\alpha_0}{L_c} \right) \\ &= \frac{-16.06 \times (0.739)^2}{12} \\ &\quad \times \left(2 - \frac{0.739}{1.4} \right) = -1.08 \text{ 吨} \cdot \text{米} \\ \text{跨中 } M &= \frac{16.06}{12} [1.4 \times [6 \times 0.739 - 3 \times 1.4 + 0.5] \\ &\quad \times \frac{1.4^2}{0.739} - (0.739)^2 \times \left(4 - \frac{0.739}{1.4} \right)] \\ &= 0.385 \text{ 吨} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

2. 横墙承台(略)

(六)承台配筋与强度验算

1. 纵墙承台

(1)中间跨

$$\begin{aligned} \alpha. \text{ 跨中 } A_0 &= \frac{KM}{bh_0^2 R_w} = \frac{1.4 \times 0.58}{0.4 \times (0.265)^2 \times 1400} \\ &= 0.0206 < 0.4 \end{aligned}$$

查《钢筋混凝土结构设计规范》附表 8 得 $\xi = 0.0206$

$$\begin{aligned} A_g &= \xi b h_0 \frac{R_w}{R_g} = 0.0206 \times 40 \times 26.5 \times \frac{140}{2400} \\ &= 1.27 \text{ 厘米}^2 \end{aligned}$$

受拉区配置 $2\phi 10 (A_g = 1.57 \text{ 厘米}^2)$, 箍筋 $\phi 6 @ 200$

b. 支座

$$A_0 = \frac{1.4 \times 1.25}{0.4 \times (0.265)^2 \times 1400} = 0.0445$$

查《钢筋混凝土结构设计规范》附表 8 得 $\xi = 0.045$

$$A_g = 0.045 \times 40 \times 26.5 \times \frac{140}{2400} = 2.78 \text{ 厘米}^2$$

受拉区配置 $2\phi 14$ ($A_g = 3.08 \text{ 厘米}^2$, 箍筋 $\phi 6@200$)

c. 验算承台梁斜截面的抗剪强度, 按《钢筋混凝土结构设计规范》第 50 条: $KQ \leq Q_{kh}$ 按公式(附 4-6):

$$Q = \frac{p_o \alpha_o}{2} = \frac{12.28 \times 0.967}{2} = 5.94 \text{ 吨}$$

$$\frac{KQ}{bh_o} = \frac{1.55 \times 5.94 \times 10^3}{40 \times 26.5} = 8.7 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$< 0.5P_a = 0.2 \times 110 = 22 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\therefore \alpha_{kh} = 2.0$$

$$\begin{aligned} Q_{kh} &= 0.07R_a b h_o + \alpha_{kh} R_g \frac{A_k}{s} h_o \\ &= 0.07 \times 110 \times 40 \times 26.5 + 2.0 \times 2400 \\ &\quad \times \frac{2 \times 0.283}{20} \times 26.5 = 11762 \text{ 公斤} \geq KQ \\ &= 1.55 \times 5940 = 9207 \text{ 公斤(可)} \end{aligned}$$

(2) 边跨: 计算同中跨。

a. 跨中 受拉区配置 $2\phi 10$, 箍筋 $\phi 6@200$

b. 支座 两端支座均配置 $2\phi 14$ 箍筋 $\phi 6@200$

c. 验算承台梁斜截面的抗剪强度

$$Q = \frac{p_o \alpha_o}{2} = \frac{16.06 \times 0.739}{2} = 5.93 \text{ 吨}$$

$$\begin{aligned} \text{由中间跨知 } KQ &= 1.55 \times 5.93 = 9.19 \text{ 吨} < Q_{kh} \\ &= 11.76 \text{ 吨(可)} \end{aligned}$$

2. 横墙承台(略)

附录六 灌注桩基础施工记录表

钻孔灌注桩施工记录汇总表

附表 6-1

| | | |
|-------|--------|---------|
| 施工单位： | 设计桩长： | 场地地坪标高： |
| 工程名称： | 设计桩径： | 配筋情况： |
| 钻机类型： | 混凝土标号： | 混凝土坍落度： |

| 序号 | 施工日期 | 桩位编号 | 实测孔径 (米) | 实测孔深 (米) | 桩底土层 | 虚土厚度 (厘米) | 虚土处理 | 钢筋笼 高低 偏差 | 混凝土灌量 (立方米) | | 备 注 |
|----|------|------|-------------|-------------|------|--------------|------|-----------------|----------------|----|-----|
| | | | | | | | | | 计算 | 实际 | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

技术负责人 工 长 质量员 记录员

- 注：1. 备注栏记录施工中出现的的情况，如塌孔、缩颈、进水及处理方法等。
 2. 本记录适合螺旋钻成孔灌注桩使用。
 3. 机动洛阳铲成孔灌注桩、钻孔扩底灌注桩的施工记录，可参考本表填写（钻孔扩底灌注桩可增加“实测扩大头直径”一栏）。

锤击沉管(振动 振动冲击沉管)灌注桩施工记录汇总表

附表 6-3

施工单位: 桩管规格: 设计桩长: 场地地坪标高:
 工程名称: 锤重量: 设计桩径: 配筋情况:
 钻机类型: 桩尖类型: 混凝土标号: 混凝土坍落度:

| 序号 | 施工日期 | 桩位编号 | 桩管入土深度(米) | 桩尖标高(米) | 最后 2 阵十击贯入度(厘米) | | | 锤击次数 | | 管内渗入泥水深度(厘米) | 混凝土灌注量(立米) | 灌注充盈系数(K) | 备注 |
|----|------|------|-----------|---------|-----------------|---|--|------|--------|--------------|------------|-----------|----|
| | | | | | 1 | 2 | | 总数 | 最后 1 米 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

技术负责人 工 长 质量员 记录员

注:对振动、振动冲击沉管灌注桩,“最后 2 阵十击贯入度”一栏改为“最后 2 个 2 分钟贯入深度”(单位为米);“锤击次数”一栏改为“沉管时间”;“总数”改为“总时间”(单位为分钟)。

附录七 本规程条文中用词和 用语的说明

(一) 对条文执行严格程度的用词采用以下写法:

1. 表示很严格,非这样作不可的用词:

正面词一般采用“必须”反面词一般采用“严禁”。

2. 表示严格,在正常情况下均应这样作的用词:

正面词一般采用“应”;反面词一般采用“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作的用词:

正面词一般采用“宜”或“一般”;反面词一般采用“不宜”。

4. 表示一般情况下均应这样作,但硬性规定这样作有困难的用词,采用“应尽量”。

5. 表示可以根据具体情况进行选择的用词,采用“可”。

(二) 条文中必须按指定的标准,规范或其他有关规定执行的写法为“按……执行”或“符合……要求”。非必须按所指的标准,规范或其他规定执行的写法为“参照……”。

参考资料一 桩的现场试验

一、单桩垂直静载试验

(一) 试验目的:采用接近于桩的实际工作条件的试验

方法，确定单桩的轴向受压承载力。当埋设有桩底反力和桩身应力、应变测量元件时，尚可直接测定桩侧各土层的极限摩阻力和端承力。

(二) 试验加载装置：一般采用油压千斤顶加载，千斤顶的加载反力装置可根据现场实际条件取下列三种形式之一：

1. 锚桩横梁反力装置 (图 1)：锚桩数量、锚桩长度

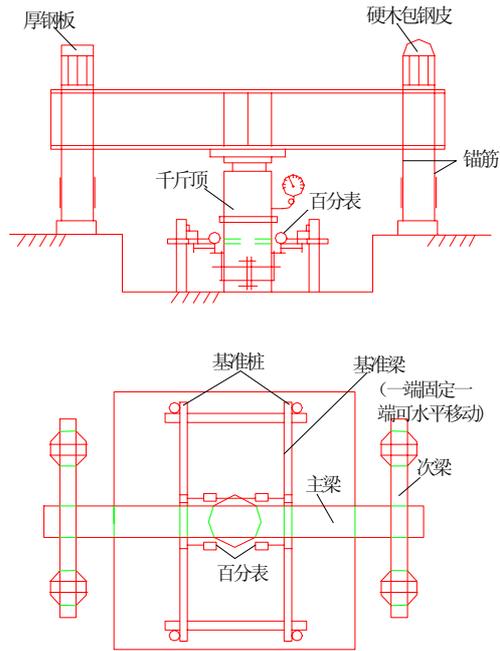


图 1 垂直静载试验装置示意

和横梁尺寸均应按 1.2~1.4 倍预估试桩破坏荷载进行设计，锚桩按抗拔桩的有关规定计算确定。采用工程桩作锚桩时，锚桩数量不得少于 4 根，并应对试验过程锚桩上拔量进行检测。

2. 压重平台反力装置：压重量不得少于预估试桩破坏荷载的 1.2 倍；压重应在试验开始前一次加上，并均匀稳固放置于平台上。

3. 锚桩压重联合反力装置：当试桩最大加载重量超过锚桩的抗拔能力时，可在横梁上放置或悬挂一定重物，由锚桩和重物共同承受千斤顶加载反力。

千斤顶应平放于试桩中心：当采用 2 个以上千斤顶加载时，宜将千斤顶并联同步工作，并使千斤顶的合力通过试桩中心。

(三) 荷载与沉降的量测仪表：荷载可用放置于千斤顶上的应力环、应变式压力传感器直接测定，或采用联于千斤顶的压力表测定油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载。试桩沉降一般采用百分表测量。应在桩的 2 个正交直径方向对称安置 4 个百分表，小桩径可安置 2 个或 3 个百分表。沉降测定平面离桩顶距离不应小于 0.5 倍桩径，固定和支承百分表的夹具和横梁在构造上应确保不受气温影响而发生竖向变位。

(四) 试桩、锚桩（压重平台支墩）和基准桩之间的中心距离应符合表 1 的规定

(五) 试桩制作要求

1. 试桩顶部一般应予加强，可在桩顶配置加密钢筋网 2~3 层，或以薄钢板圆筒作成加劲箍与桩顶混凝土

试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离 表 1

| 反力系统 | 试桩与锚桩（或压重平台支墩边） | 试桩与基准桩 | 基准桩与锚桩（或压重平台支墩边） |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 锚桩横梁反力装置 压重平台反力装置 | $\geq 3d, \leq 1.5$ 米 | $\geq 4d, \leq 2.0$ 米 | $\geq 4d, \leq 2.0$ 米 |

注：d—试桩或锚桩的设计直径，取其较大者（如试桩或锚桩为扩底桩时，试桩与锚桩的中心距不应小于 2 倍扩大端直径）。

浇成一体，用高标号砂浆将桩顶抹平。

2. 为安置沉降测点和仪表，试桩顶部露出试坑地面的高度不宜小于 60 厘米，试坑地面应与桩承台底设计标高一致。

3. 试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。为缩短试桩养护时间，混凝土标号可适当提高，或掺入早强剂。

（六）从浇注试桩混凝土到开始试验的间歇时间：在满足混凝土达到设计标号的前提下，对于砂类土，不应少于 10 天；对于一般粘性土，不应少于 20 天；对于淤泥或淤泥质土中的沉管灌注桩，不应少于 30 天。

（七）试验加载方式：一般采用慢速维持荷载法（逐级加载，每级荷载达到相对稳定后加下一级荷载，直至试桩破坏，然后逐级卸载到零）。当考虑结合实际工程桩的荷载特征或为缩短试验时间，也可采用多循环加、卸载法（每级荷载达到相对稳定后卸载到零）和快速维持荷载法（一般采用每一小时加一级荷载）。

（八）慢速维持荷载法按下列规定进行加、卸载和沉

降观测：

1. 加载分级：每级加载为预估极限荷载的 $1/10\sim 1/15$ 。

2. 沉降观测：每级加载后在第一小时内每隔 15 分钟测读一次，以后每隔半小时测读一次。每次测读值记入试验记录表（参见表 3）。

3. 沉降相对稳定标准：每一小时的沉降不超过 0.1 毫米，并连续出现两次（由 1.5 小时内连续三次观测值计算），认为已达到相对稳定，可加下一级荷载，且每级荷载维持时间不得少于 2 小时；对于砂性土中的灌注桩，沉降相对稳定标准，可放宽为每半小时内不超过 0.1 毫米，并连续出现两次。

4. 终止加载条件：当出现下列情况之一时，即可终止加载。

(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；

(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 24 小时尚未达到相对稳定；

(3) 荷载已超过按第十项规定所确定的极限荷载二极以上，或荷载超过极限荷载经 36 小时仍不稳定。

5. 卸载与卸载沉降观测：每级卸载值为每级加载值的 2 倍。每级卸载后隔 15 分钟测读一次残余沉降，读两次后，隔半小时再读一次，即可卸下一级荷载，全部卸载后，隔 3~4 小时再读一次。

(九) 单桩垂直静载试验的资料整理内容：

1. 单桩垂直静载试验概况：整理成表格形式（参见表

- 2), 并应对成桩和试验过程出现的异常现象作补充说明。
2. 单桩垂直静载试验记录表 (参见表 3)。
3. 单桩垂直静载试验荷载——沉降汇总表 (参见表 4)。
4. 绘制有关试验成果曲线: 为确定单桩的极限荷载, 一般绘制 **P-S** (按整个图形比例横: 竖=2: 3, 取 **P**、**S** 的座标比例), **S-lgt**, **S-lgp** 曲线, 以及其它辅助分析所需曲线。
5. 当进行桩身应力、应变和桩底反力测定时, 应整理出有关数据的记录表和绘制桩身轴力分布、摩阻力分布, 桩底反力-荷载关系等曲线。
6. 确定单桩轴向受压极限荷载; 划分桩侧总极限摩阻力和总极限端承力, 并由此求出桩侧平均极限摩阻力 (当进行分层测试时, 应求出各层土的极限摩阻力) 和极限端承力。

(十)单桩轴向受压极限荷载可按下列方法综合分析确定。

1. 根据沉降随时间的变化特征确定极限荷载: 取 **S-lgt** 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载为极限荷载 (图 2)。
2. 根据沉降随荷载的变化特征确定极限荷载:
 - (1) 取 **P-S** 曲线发生明显陡降的起始点 (第二拐点) 所对应的荷载为极限荷载 (图 3)。
 - (2) 取 **S-lgp** 曲线出现陡降直线段的起始点所对应的荷载为极限荷载 (图 4)。
3. 根据沉降量确定极限荷载: 沉降量取值标准可根据各地区的经验确定。

单桩垂直(水平)静载试验概况表 表 2

| | | | | | |
|---------|--|--------|----|---------|-----|
| 工程名称 | | 地 点 | | 试验单位 | |
| 试桩编号 | | 试验起止时间 | | 混凝土浇灌时间 | |
| 成桩工艺 | | 孔底虚土厚度 | | 孔 壁 情 况 | |
| 钻头或桩管直径 | | 混凝土 | 设计 | 配筋 | 规 格 |
| 实际桩径 | | 标 号 | 实际 | | 长 度 |
| 加载方式 | | 稳定标准 | | | |

综 合 桩 状 图

试桩平面布置示意图

| 层次 | 土层名称 | 描 述 | 地质符号 | 相对标高 | 桩 身 剖 面 |
|----|------|-----|------|------|--|
| 1 | | | | | <p>The diagram shows a vertical pile cross-section. At the top, there is a level marked ±0.00. Below it, a level is marked with a triangle and a dashed line, labeled '承台底' (pile cap bottom). The pile diameter is labeled 'd0' in yellow. At the bottom of the pile, the diameter is labeled 'd1' in yellow. The pile is shown passing through five soil layers, numbered 1 to 5 from top to bottom. The soil layers are represented by different patterns and colors.</p> |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

土 的 物 理 力 学 指 标

| 层 次 | 深度 (米) | γ (克/厘米 ³) | ω (%) | e | S_r (%) | ω_p (%) | I_p | I_L | a_{1-2} (2-3) | E_s (公斤/厘米 ²) | C (公斤/厘米 ²) | φ (度) | $[R]$ (公斤/厘米 ²) |
|-----|--------|-------------------------------|--------------|-----|-----------|----------------|-------|-------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |

试验： 资料整理： 校核：

单桩垂直静载试验记录表 表 3

试桩号:

| 荷载 (吨) | 观测时间 日/月时分 | 间隔 时间 分 | 读 数 | | | | | 沉 降 (毫米) | | 备 注 |
|-----------|---------------|---------------|-----|---|---|---|----|----------|----|-----|
| | | | 表 | 表 | 表 | 表 | 平均 | 本次 | 累计 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

试验: 记录: 校核:

单桩垂直静载试验结果汇总表 表 4

试桩号:

| 序号 | 荷 载 (吨) | 历 时 (分) | | 沉 降 (毫米) | |
|----|------------|---------|-----|----------|-----|
| | | 本 级 | 累 计 | 本 级 | 累 计 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

试验: 记录: 校核:

单桩水平静载试验记录表 表 5

试桩号:

上下表距:

| 荷载 (吨) | 观测时间 日/月时分 | 循 环 数 | 加 载 | | 御 载 | | 水 平 位 移 (毫米) | | 加 载 上 下 表 读 数 差 | 转 角 | 备 注 |
|-----------|---------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----------------------|-----|-----|
| | | | 上 表 | 下 表 | 上 表 | 下 表 | 加 载 | 御 载 | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

试验: 记录: 校核:

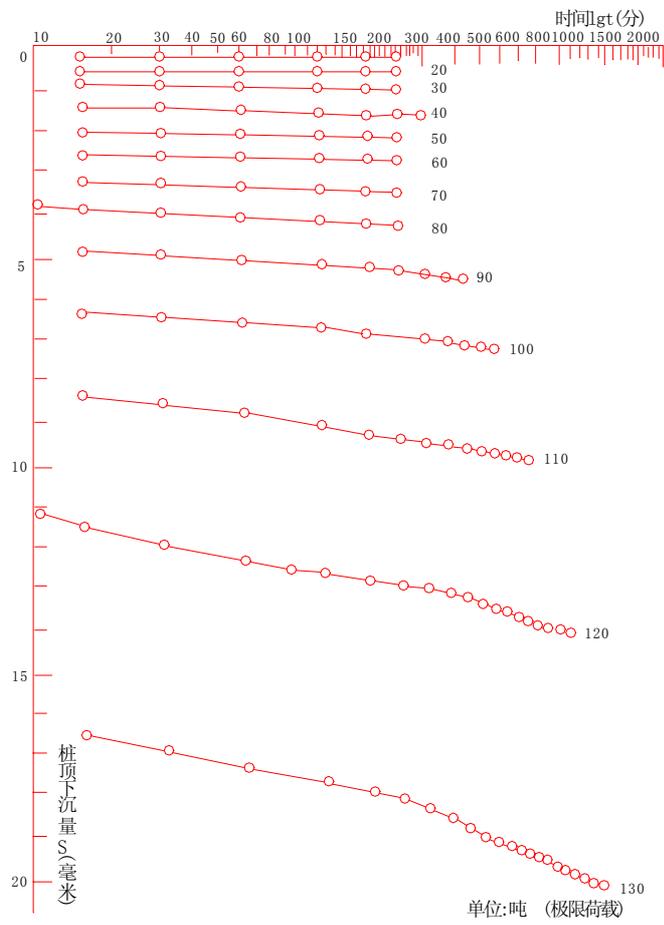
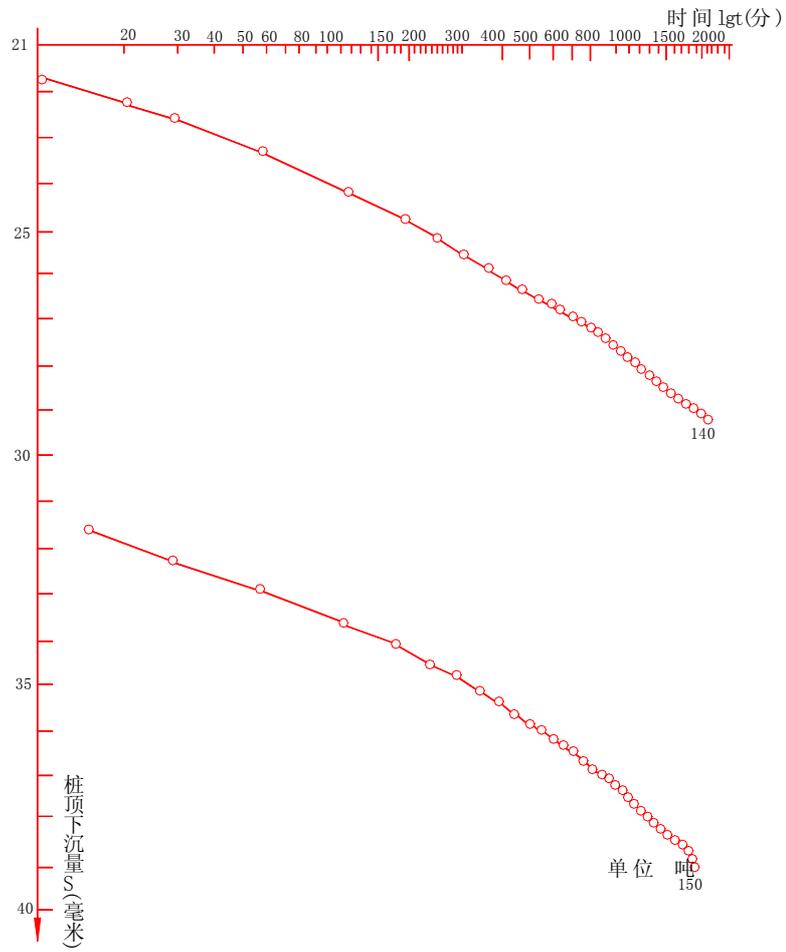


图 2



S-igt 曲线

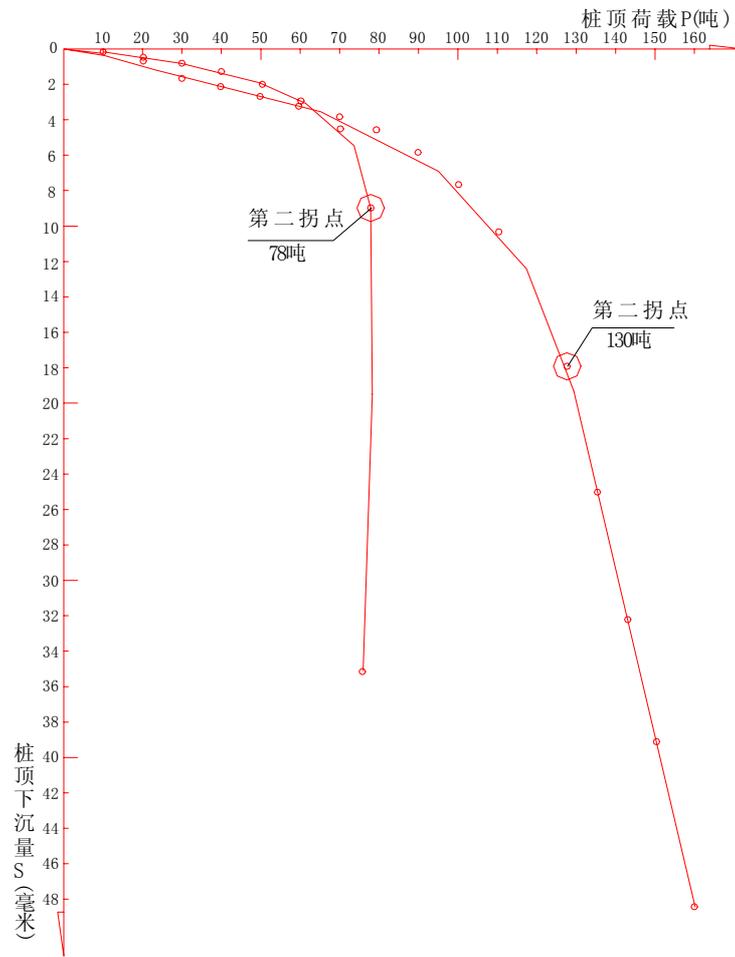


图 3 P-S 曲线

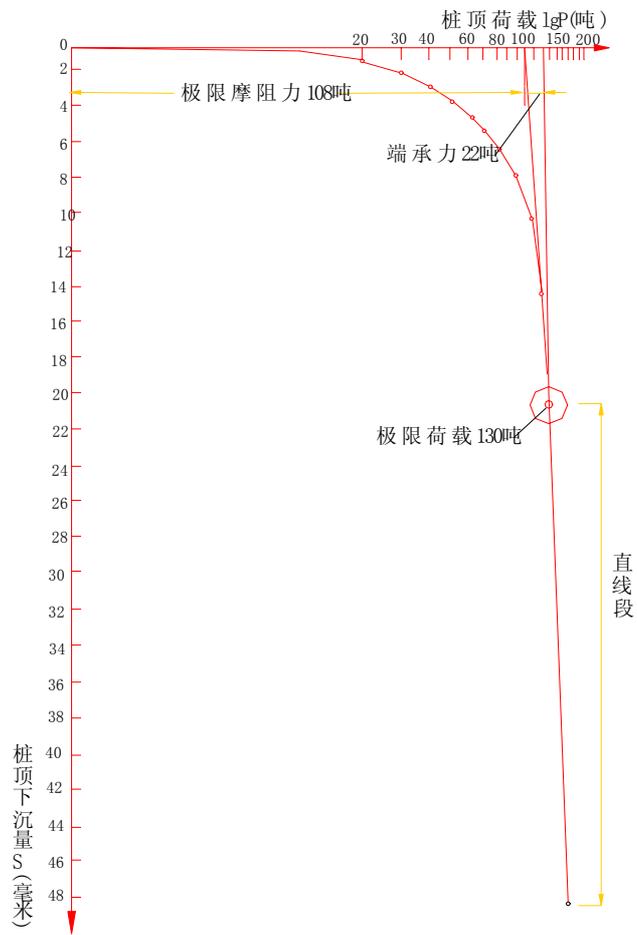


图 4 S-lgP 曲线

(十一) 对于承载力以摩阻力为主的桩，桩侧极限摩阻力和桩底极限端承力可参照下述方法进行划分：

将 **S-lgP** 曲线陡降直线段向上延伸与横坐标相交，交点左段为总极限摩阻力，交点至极限荷载的距离即为总极限端承力，再分别除以桩侧表面积和桩底面积即得平均极限摩阻力和极限端承力（见图 4）。

(十二) 当考虑桩周土的负摩擦力验算单桩的轴向受压承载力时，桩周沉降层范围的摩阻力可采用悬底桩静载试验（桩的入土深度与沉降土层底部深度一致）或在常规静载试验中埋设桩身测力元件测定。对于自重湿陷性黄土地基，桩的静载试验宜在天然状态下进行。

二、单桩水平静载试验

(一) 试验目的：采用接近于桩的实际工作条件的试验方法确定单桩的水平承载力和地基土的水平抗力系数；当埋设有桩身应力测量元件时，可测定出桩身应力变化，并由此求得桩身弯矩分布。

(二) 试验设备与仪表装置（图 5）

1. 采用千斤顶施加水平力，水平力作用线应通过地面标高处（地面标高应与实际工程桩基承台底面标高一致）。在千斤顶与试桩接触处宜安置一球形铰座，以保证千斤顶作用力能水平通过桩身轴线。

2. 桩的水平位移宜采用大量程百分表测量。每一试桩在力的作用水平面上和在该平面以上 50 厘米左右各安装一或二只百分表（下表测量桩身在地面处的水平位移，上表测量桩顶水平位移，根据两表位移差与两表距离的比值求得地面以上桩身的转角）。如果桩身露出地面较短，可只

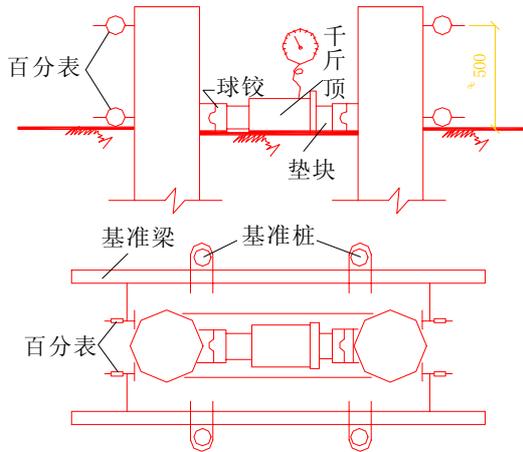


图 5 水平静载试验装置示意图

在力的作用水平面上安装百分表测量水平位移。

3. 固定百分表的基准桩宜打设在试桩侧面靠位移的反方向，与试桩的净距不小于 1 倍试桩直径。

(三) 试验加载方法：一般采用单向多循环加卸载法，对于个别受长期水平荷载的桩基也可采用慢速连续加载法（稳定标准可参照垂直静载试验）进行试验。

(四) 多循环加卸载试验法，按下列规定进行加卸载和位移观测：

1. 荷载分级：取预估水平极限荷载的 $1/10 \sim 1/15$ 作为每级荷载的加载增量。根据桩径大小并适当考虑土层软硬，对于直径 300~1000 毫米的桩，每级荷载增量可取 0.25~2 吨。

2. 加载程序与位移观测：每级荷载施加后，恒载 4 分钟测读水平位移，然后卸载至零，停 2 分钟测读残余水平位移，至此完成一个加卸载循环，如此循环 5 次便完成一级荷载的试验观测。加载时间应尽量缩短，测量位移的间隔时间应严格准确，试验不得中途停歇。

3. 终止试验的条件：当桩身折断或水平位移超过 30~40 毫米（软土取 40 毫米）时，可终止试验。

(五) 单桩水平静载试验的资料整理内容

1. 单桩水平静载试验概况：整理成表格形式（参见表 2）。对成桩和试验过程发生的异常现象应作补充说明。

2. 单桩水平静载试验记录表（参见表 5）。

3. 绘制有关试验成果曲线：一般应绘制水平力—时间—位移 (H_0-T-x_0)、水平力—位移梯度 ($H_0-\frac{\Delta x_0}{\Delta H_0}$) 或水平力—位移双对数 ($lg H_0-lg x_0$) 曲线，当测量桩身应力时，尚应绘制应力沿桩身分布和水平力—最大弯矩截面钢筋应力 ($H_0-\sigma_s$) 等曲线。

(六) 单桩水平临界荷载（桩身受拉区混凝土明显退出工作前的最大荷载）按下列方法综合确定。

1. 取 H_0-T-x_0 曲线出现突变（相同荷载增量的条件下，出现比前一级明显增大的位移增量）点的前一级荷载为水平临界荷载（图 6）。

2. 取 $H_0-\frac{\Delta x_0}{\Delta H_0}$ 曲线第一直线段的终点（图 6）或 $lg H_0-lg x_0$ 曲线拐点所对应的荷载为水平临界荷载。

3. 当有钢筋应力测试数据时,取 $H_0-\sigma_0$ 第一突变点对应的荷载为水平临界荷载 (图 6)。

(七) 单桩水平极限荷载可根据下列方法综合确定。

1. 取 H_0-T-x_0 曲线明显陡降的前一级荷载为极限荷载 (图 6)。

2. 取 $H_0-\frac{\Delta x_0}{\Delta H_0}$ 曲线第二直线段终点对应的荷载为极限荷载 (图 6)。

3. 取桩身折断或钢筋应力达到流限的前一级荷载为极限荷载。

有条件时,可模拟实际荷载情况、进行桩顶同时施加轴向压力的水平静载试验。

(八) 地基土水平抗力系数的比例系数 m 可根据试验结果按下列公式确定:

$$m = \frac{\left(\frac{H_{cr}}{x_{cr}} \nu_x \right)^{5/3}}{b_0 (EI)^{2/3}}$$

式中 m ——地基土水平抗力系数的比例系数 (吨/米⁴),该数值为地面以下 $2(d+1)$ 米深度内各土层的综合值;

H_{cr} ——单桩水平临界荷载 (吨);

x_{cr} ——水平临界荷载对应的水平位移 (米);

ν_x ——桩顶位移系数,按表 2-3-11 采用:(先假定 m , 试算 α);

b_0 ——桩身计算宽度 (米),按第 2-3-14 条计算确定。

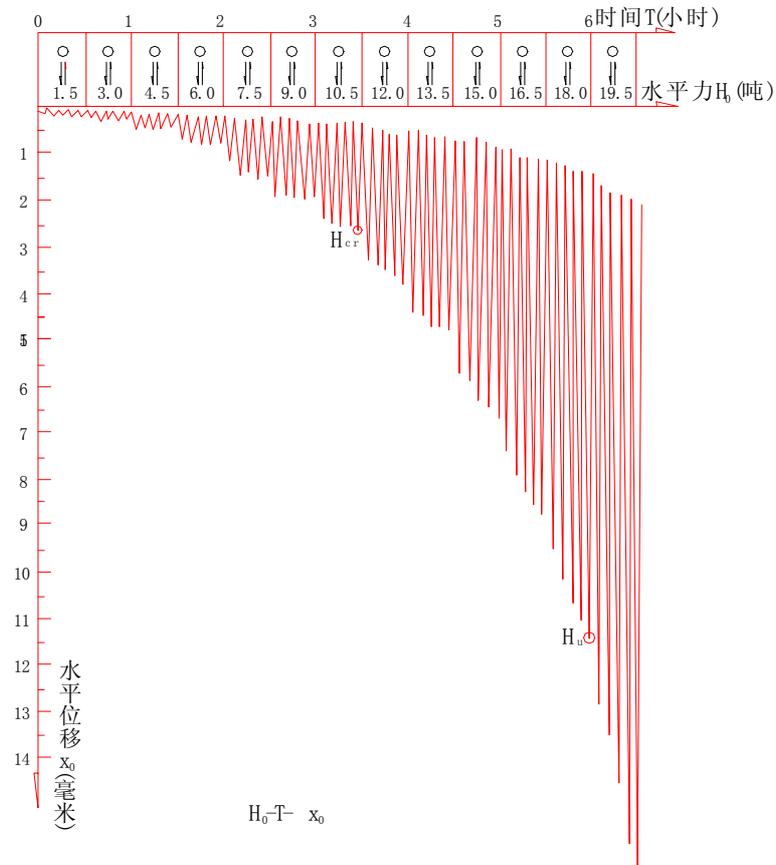
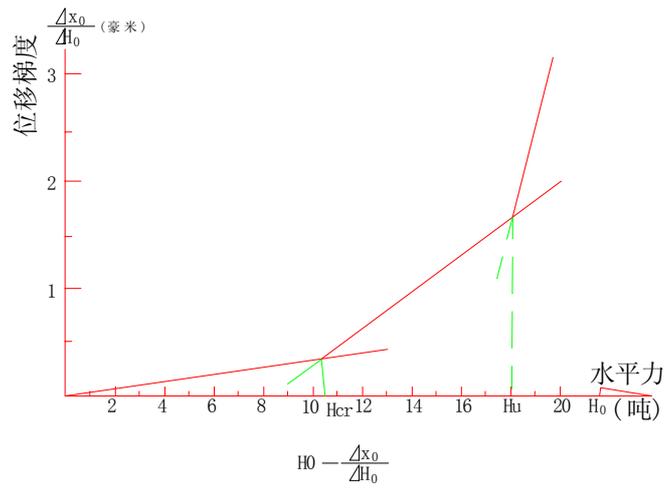


图 6 单桩水平静



载试验成果曲线

参考资料二 常用灌注桩的成孔机械性能

常用的螺旋钻孔机性能 表 6

| 项目 型号 | 钻孔 直径 (厘米) | 最大 钻深 (米) | 转速 (转/分) | 最大扭矩 (公斤·米) | 电动机 功率 (千瓦) | 最大加 压力 (吨) | 钻进 速度 (米/分) | 钻机 自重 (吨) | 底 盘 |
|------------------|------------------|--------------------------|--------------------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------|
| LZ型长 螺旋钻孔机 | 30、40 50、60 | 12 | 63、81 116 | 340 | 30 | 2.8 | 1.0 | 3.5 | 履带 |
| 1#、2#、长 螺旋钻孔机 | 30 | 8.2 | 120 | 105 | 13 | 1.0 | 1.0 | 4.5 | 汽车 |
| 4#长螺旋 钻孔机 | 40 | 12 | 120 | 140 | 17 | 1.5 | 1.0 | 5.5 | 汽车 |
| BZ-1型短 螺旋钻孔机 | 30、40、 50、80 | 最大 11.8 常用 ≤8.0 | 钻进 45 甩土 198 | 520 | 液压泵 40 | 2.0 | 3.1 | 8.0 | 汽车 |

QSZ-800形潜水钻机性能 表 7

| 项 目 | | 1# 潜 水 钻 | 2# 潜 水 钻 |
|------------|---------|-----------|-------------|
| 电动机 | 功率(千瓦) | 20 | 30 |
| | 转速(转/分) | 960 | 960 |
| 钻机转速(转/分) | | 240 | 215 |
| 减速器 | | 行星齿轮式 i=4 | 行星齿轮式 i=4.5 |
| 钻机直径(毫米) | | 300 | 345 |
| 钻机长度(毫米) | | 1405 | 1560 |
| 最大钻孔直径(毫米) | | 800 | 800 |
| 最大钻孔深度(米) | | 50 | 50 |
| 钻机重量(公斤) | | 600 | 700 |

常用的锤击沉管成孔机性能 表 8

| 名 称 | 功 率 | 锤重 (吨) | 落锤 高度 (厘米) | 拔管 倒打 冲程 (厘米) | 桩架高 (米) | 桩管 直径 (毫米) | 桩管长 (米) |
|--------------------|--------------|------------------|------------------|------------------------|------------|------------------|------------|
| 蒸汽打桩机 | 蒸发量 1吨/小时 | 1 2.55 3.5 | 40~60 | 20~30 | 20~34 | d320 d480 | 23 |
| 电动落锤打桩机 | 卷扬机 23千瓦 | 0.75 ~1.5 | 100 ~200 | 20~30 | 15~17 | d320 | 10~12 |
| 柴油机自由落锤打桩机 | 40马力 | 0.75 | 100 ~200 | 20~30 | 13~17 | d320 | 11~15 |
| 柴油锤打桩机 | 柴油耗量 | | | | | | |
| D ₁ -12 | | 1.2 | 250 | | | d273 | 6~8 |
| D ₂ -18 | 9升/小时 | 1.8 | | | | | |
| D ₂ -25 | 18.2升/小时 | 2.5 | | | | d320 | 0~15 |

常用的振动、振动冲击成孔机性能 表 9

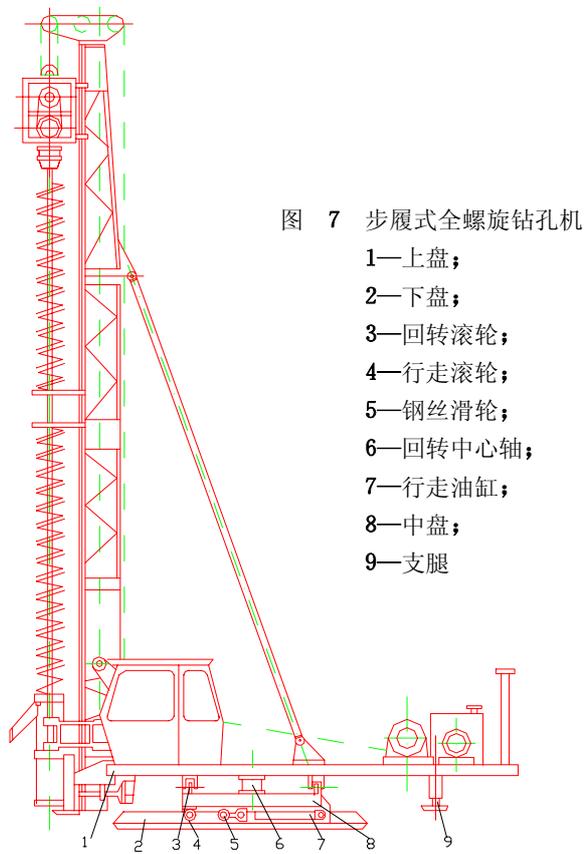
| 桩机激振力(吨) | 桩管沉入深度 (米) | 桩管外径 (毫米) | 桩管壁厚 (毫米) |
|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|
| 7~8吨(振动沉管) | 8~10 | 220~273 | 6~8 |
| 10~15吨(振动沉管) | 10~15 | 273~325 | 7~10 |
| 15~20吨(振动沉管) | 15~20 | 325 | 10~12.5 |
| 40吨(振动沉管) | 20~24 | 370 | 12.5~15 |
| 振动力6吨 (振动冲击沉管) 打击力60吨 | 8~11 | 273 | 6~8 |

常用的冲击成孔机性能

表 10

| 项 目 机 械 型 号 | 钻机卷筒 提升能力 (吨) | 钻 头 最大重量 (吨) | 钻 头 冲击行程 (米) | 冲击次数 (次/分) | 钻机重量 (吨) | 行走方式 |
|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------|-------|
| YKC-30 | 3.0 | 2.5 | 0.5~1.0 | 40、45、50 | 11.5 | 轮 胎 式 |
| CZ-22 | 2.0 | 1.5 | 0.35~1.0 | 40、45、50 | 7.0 | 轮 胎 式 |
| YKC-20 | 1.5 | 1.0 | 0.45~1.0 | 40、45、50 | 6.3 | 轮 胎 式 |
| 飞跃-22 | 2.0 | 1.5 | 0.5~1.0 | 40、45、50 | 8.0 | 轮 胎 式 |
| YKC-20-2 | 1.2 | 1.0 | 0.3~0.76 | 56~58 | | 履带自行 |
| 简易冲击机 | 3.5 | 2.2 | 2.0~3.0 | 5~10 | 5 | 走管移动 |

参考资料三 灌注桩施工设备示意图例



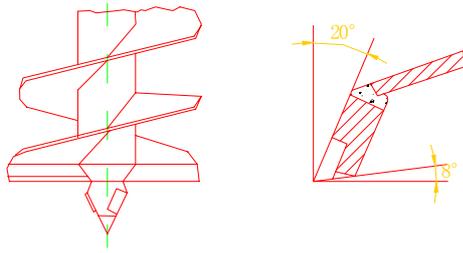


图 8-1 平底钻头

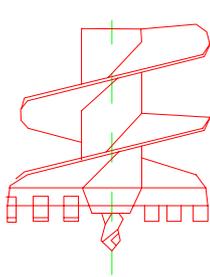


图 8-2 耙式钻头

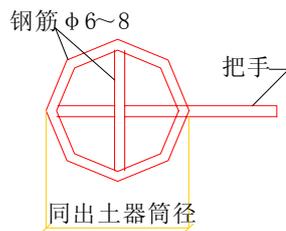


图 8-4 定位圆环

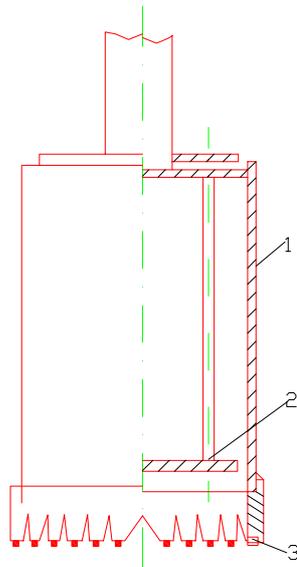


图 8-3 筒式钻头

1—筒体;2—推土盘;
3—八角硬质合金刀头(YG-8)

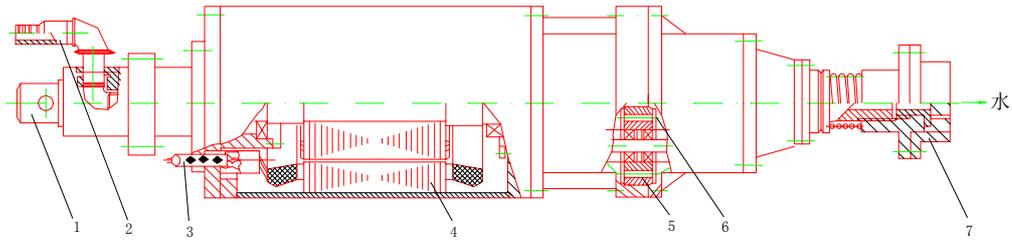


图 9 潜水钻构造示意图

1—提升盖;2—进水管;3—电缆;4—潜水电机;5—行星减速箱;6—中间进水管;7—钻头接箍

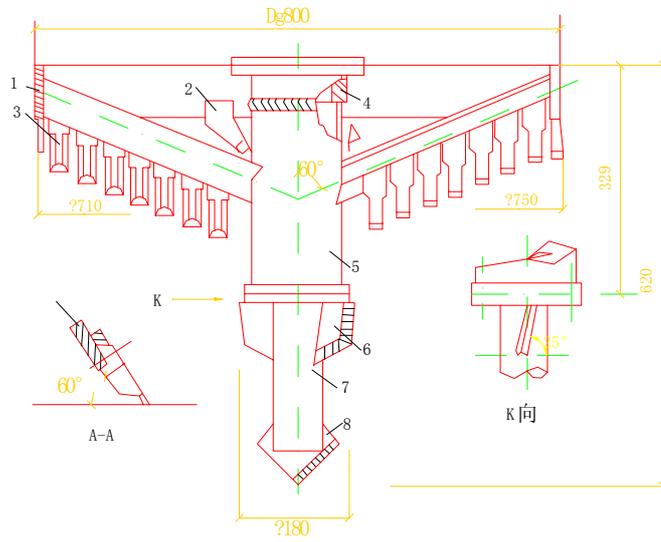


图 10 笼式钻头(潜水钻用 D_g800)

1—护圈;2—钩爪;3—腋爪;4—钻头接箍;5、7—岩心管;6—小爪;8—钻尖;9—翼片

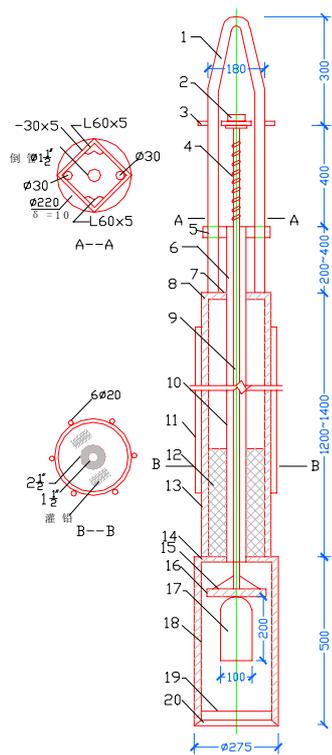


图 11 机动洛阳铲示意图

- 1—提升杆;
- 2—螺帽;
- 3—钢板;
- 4—弹簧;
- 5—钢板;
- 6—角钢;
- 7—垫圈;
- 8—封板;
- 9—钢管;
- 10—套管;
- 11—钢筋;
- 12—铅配重;
- 13—钢管;
- 14—封板;
- 15—加劲板;
- 16—钢板;
- 17—留孔(对称两个);
- 18—钢板套;
- 19—焊缝(壁内);
- 20—铲刀。

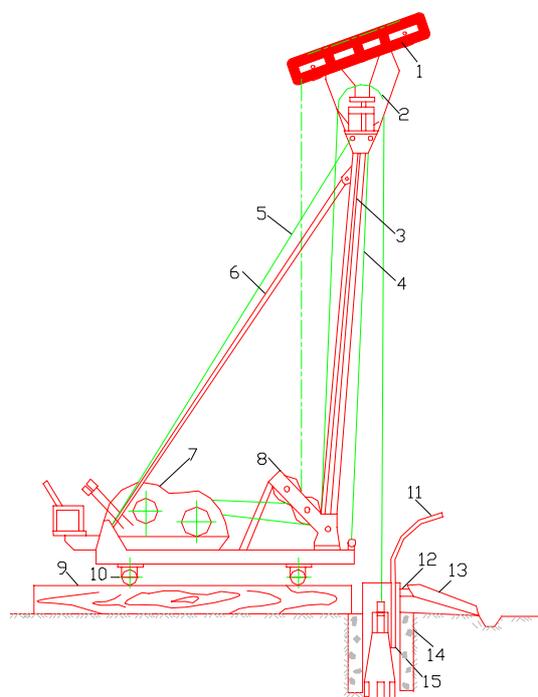


图 12 简易冲击钻孔机示意图

- 1—副滑轮;2—主滑轮;3—主杆;4—前拉索;5—后拉索;
6—斜撑;7—双滚筒卷扬机;8—导向轮;9—垫木;10—钢管;
11—供浆管;12—溢流口;13—泥浆渡槽;14—护筒回填土;15—钻头

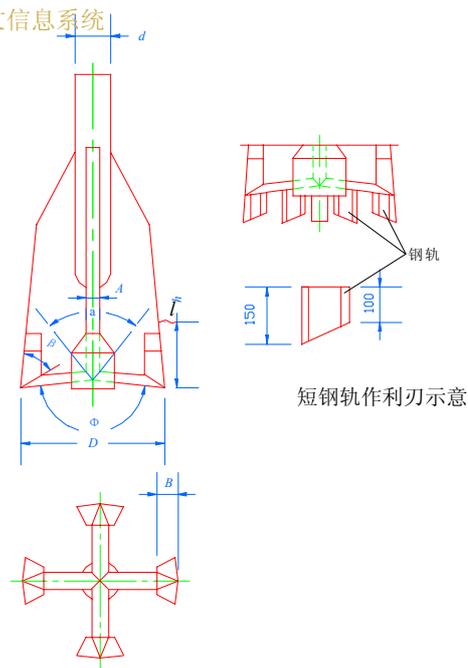


图 13-1 十字钻头示意图

不同土质钻头的参数

| 土 质 | α | β | γ | φ |
|--------|----------|---------|----------|-----------|
| 粘土、细砂 | 70° | 40° | 12° | 160° |
| 堆积层砂卵石 | 80° | 50° | 15° | 170° |
| 坚硬漂卵石 | 90° | 60° | 15° | 170° |

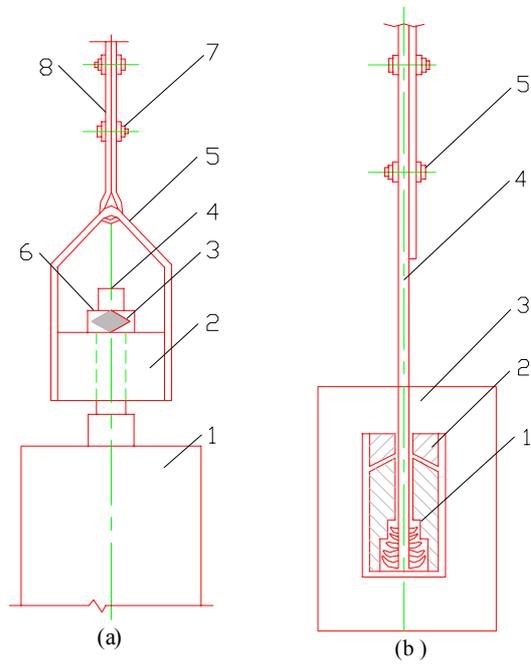


图 13-2 转向装置示意图

(a)转向套:

1—锥顶;2—转向套;3—卡板(半圆形);4—穿心杆;
5—吊环;6—夹铁;7—绳卡;8—钢丝绳

(b)合金套:

1—锚环;2—垫圈;3—锥顶;4—钢丝绳;5—绳卡
注:在锚环中灌入 70%锡、30%铝的铝锡合金

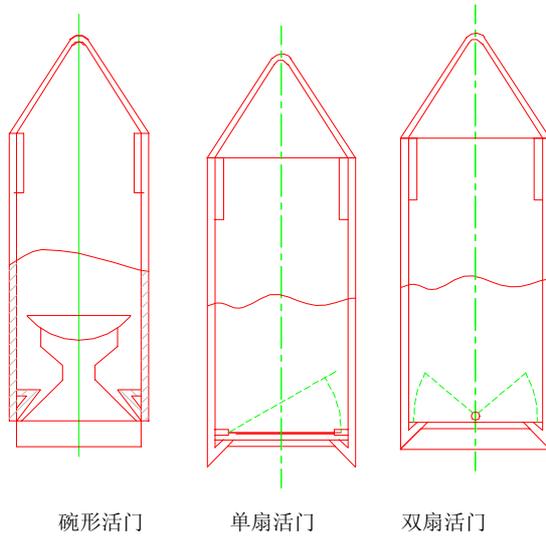


图 13-3 抽碴筒构造示意图

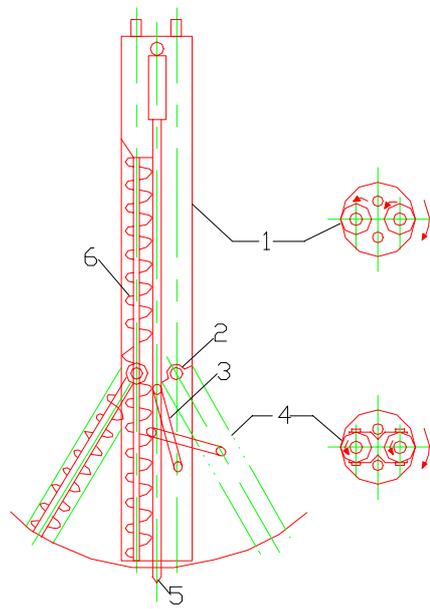


图 14 钻扩机钻杆构造示意图
1—外管；2—万向节；3—张开装置；4—扩刀；5—定位尖；
6—输土螺旋

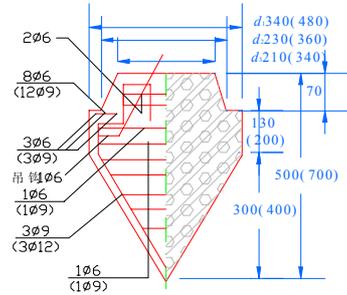


图 15-1 混凝土桩尖示意图

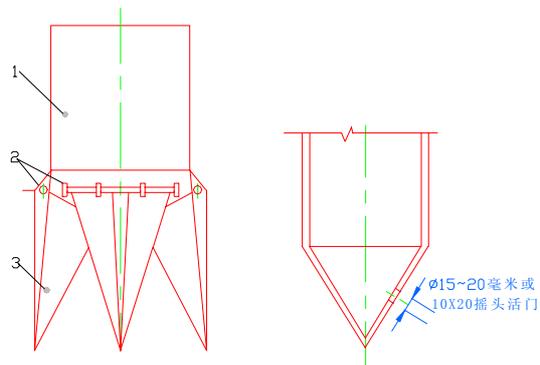


图 15-2 活瓣桩尖示意图
1-桩管;2-锁轴;3-活瓣

图 15-3 封口桩尖示意图

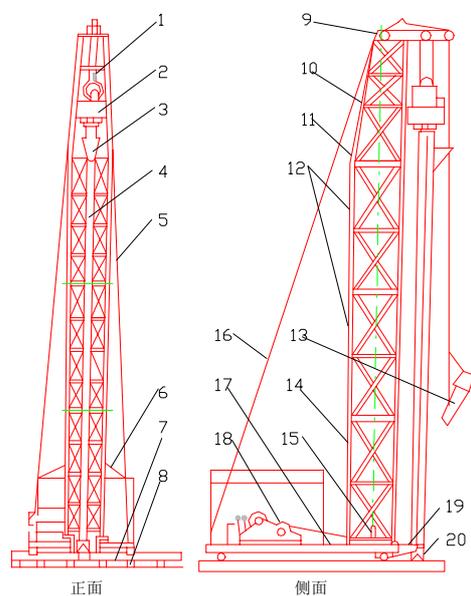


图 16 振动沉管机示意图

- 1—滑轮组;2—振动锤;3—漏斗口;4—桩管;5—前拉索;
6—遮栅;7—滚筒;8—枕木;9—架顶;10—架身顶段;11—
钢丝绳;12—架身中段;13—吊斗;14—架身下段;15—导向滑轮;
16—后拉索;17—架底;18—卷扬机;19—加压滑轮;
20—活瓣桩尖

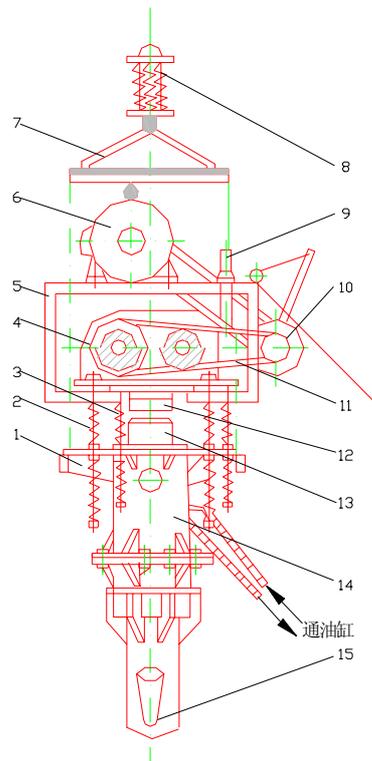


图 17 振动冲击锤构造示意图

1—底座;2—工作弹簧;3—减振弹簧;4—振动箱;5—支
架;6—电动机;7—吊环;8—缓冲架;9—压轮;10—离合
器;11—三角传动带;12—上锤砧;13—下锤砧;14—液压夹头;
15—桩管

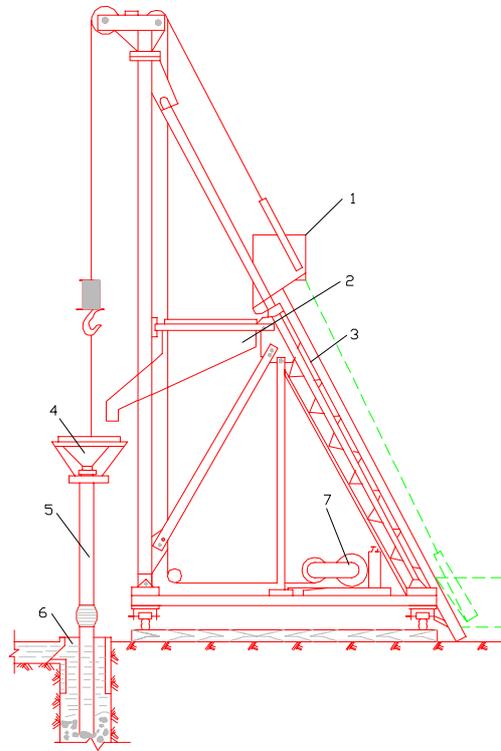


图 18 水下混凝土灌注示意图

1—进料斗;2—贮料斗;3—滑道;4—漏斗;5—导管;6—护筒;7—卷扬机

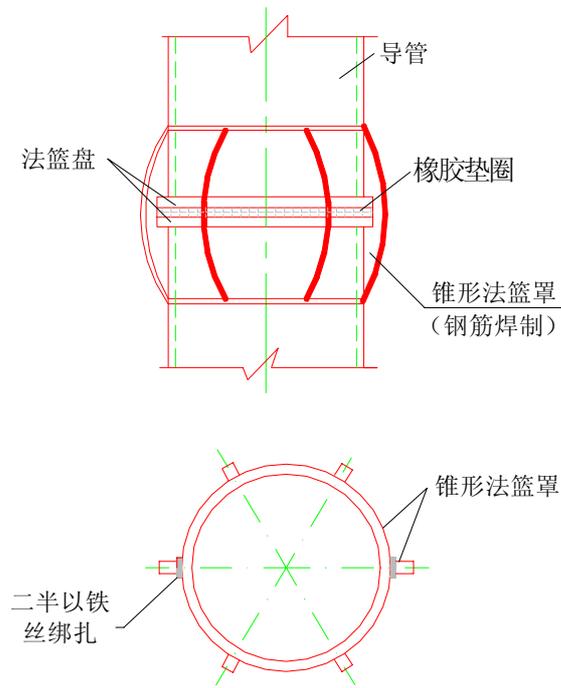


图 19-1 锥形法篮罩示意图

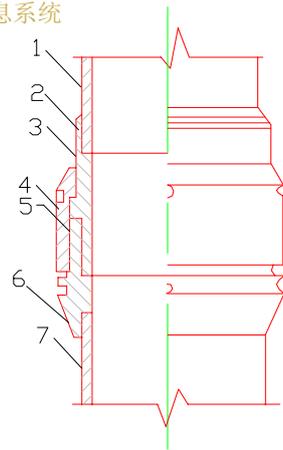


图 19-2 导管螺纹接头示意图

1—导管;2—卡簧;3—插口管;4—螺母;5—“O”形密封圈;6—承口管;7—导管

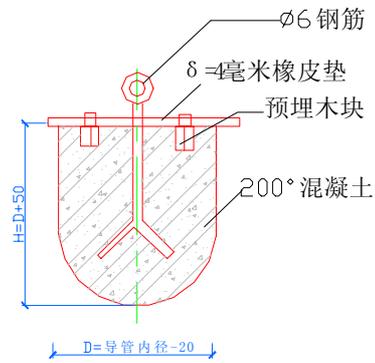


图 19-3 预制混凝土球塞示意图