

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 4285—2022

预应力混凝土空心方桩基础技术规程

Technical specification for prestressed concrete spun
square pile foundation

2022-06-13 发布

2022-12-01 实施

江苏省市场监督管理局
江苏省住房和城乡建设厅
中国标准出版社

发 布
出 版

目 次

前言Ⅲ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义、符号.....2

4 空心方桩的分类5

5 空心方桩基础设计5

6 空心方桩的原材料、构造、质量和制作要求.....15

7 空心方桩基础施工.....21

8 检验和验收.....27

附录A（规范性） 预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表32

附录B（规范性） C80预应力混凝土抗拔空心方桩配筋及力学性能参考表36

附录C（规范性） 预应力混凝土空心方桩的力学性能计算37

附录D（资料性） 锤击沉桩选择参考表40

附录E（资料性） 静压沉桩选择参考表41

附录F（规范性） 锤击沉桩施工记录表42

附录G（规范性） 静压沉桩施工记录表43

附录H（资料性） 空心方桩构造示意44

附录I（规范性） 抗拔空心方桩机械接头抗弯性能试验方法45

附录J（规范性） 抗拔空心方桩机械接头抗剪性能试验方法47

附录K（规范性） 抗拔空心方桩机械接头抗拉性能试验方法49

参考文献51

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省住房和城乡建设厅提出并归口。

本文件起草单位：金陵科技学院、南京工业大学、江苏东浦管桩有限公司、建华建材(中国)有限公司、南京汇联建材科技发展有限公司、南京中艺建筑设计院股份有限公司、江苏省建筑工程质量检测中心有限公司、南京南大岩土工程技术有限公司、江苏省江南建筑技术发展总公司、苏州三和管桩有限公司、苏州海宏水泥制品有限公司、盐城市双强管桩有限公司、滨海永扬桩业有限公司、江苏尚辰建材科技有限公司、江苏诚意桩业科技发展有限公司、江苏海恒建材机械有限公司。

本文件主要起草人：缪海林、薛涛、周峰、颜成华、姜昊天、顾明、张传岳、徐卫新、赵建华、朱文运、叶继权、陈敬阳、陈晓洪、王筠。

预应力混凝土空心方桩基础技术规程

1 范围

本文件规定了预应力混凝土空心方桩的分类,基础设计,原材料、构造、质量和制作要求,基础施工及检验和验收。

本文件适用于建筑工程中采用预应力混凝土空心方桩的设计、施工、质量检验与验收,适用于抗震设防烈度 8 度(设计基本地震加速度值为 0.20 g)及以下地区的工业与民用建筑物、构筑物的低承台基桩。铁路、公路、港口、码头、水利等工程中使用预应力混凝土空心方桩,符合国家相关现行标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 699 优质碳素结构钢
GB/T 700 碳素结构钢
GB/T 701 低碳钢热轧圆盘条
GB/T 1596—2017 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
GB/T 5223.3 预应力混凝土用钢棒
GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
GB/T 13476 先张法预应力混凝土管桩
GB/T 14685 建设用卵石、碎石
GB/T 18046—2017 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 18736—2017 高强高性能混凝土用矿物外加剂
GB/T 19496 钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法
GB 50007 建筑地基基础设计规范
GB 50009 建筑结构荷载规范
GB 50010 混凝土结构设计规范
GB 50011 建筑抗震设计规范
GB 50017 钢结构设计标准
GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准
GB 50068 建筑结构可靠性设计统一标准
GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB 50164 混凝土质量控制标准
GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
JC/T 540 混凝土制品用冷拔低碳钢丝

JC/T 950—2005 预应力高强混凝土管桩用硅砂粉
JC/T 966 预应力混凝土用钢棒镦头机
JC/T 2029 预应力离心混凝土空心方桩
JC/T 2239 预应力离心混凝土空心方桩用端板
JCJ 63 混凝土用水标准
JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
JGJ 94 建筑桩基技术规范
JGJ 106 建筑基桩检测技术规范
JG 197 预应力混凝土空心方桩
JGJ 476—2019 建筑工程抗浮技术标准
T/CECS 253 地基基础孔内成像检测标准

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

预应力混凝土空心方桩 prestressed concrete spun square pile

采用钢筋骨架自动编笼技术、先张法预应力张拉工艺、混凝土布料技术(或合模泵送技术)和混凝土离心成型法制成的一种外方内圆截面空心桩。

注：简称空心方桩。

3.1.2

锤击沉桩法 hammer driving method

利用锤击桩机设备的锤击能量将桩沉入岩土层中的施工方法。

3.1.3

静力压桩法 method of pressing pile by static pressure

利用静压桩机设备的静压力将桩沉入岩土层中的施工方法。

3.1.4

长径比 Length-diameter ratio

空心方桩桩长与其边长的比值。

3.1.5

最终贯入度 final set

采用锤击沉桩终止沉桩时的贯入度。

3.1.6

送桩 pile following

沉桩过程中,借助送桩器将桩顶沉至地面以下的工序。

3.1.7

填芯混凝土 filling concrete for square pile head

灌填在空心方桩内腔的混凝土。

3.1.8

单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of a single square pile

在竖向荷载作用下,单桩达到破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载。

3.1.9

极限侧阻力 **ultimate shaft resistance**

相应于桩顶作用极限荷载时,桩身侧表面所产生的岩土阻力。

3.1.10

极限端阻力 **ultimate tip resistance**

相应于桩顶作用极限荷载时,桩端所产生的岩土阻力。

3.1.11

单桩竖向承载力特征值 **characteristic value of the vertical bearing capacity of single pile**

单桩竖向极限承载力标准值除以安全系数后的承载力值。

3.1.12

负摩阻力 **negative skin friction ; negative shaft resistance**

桩周土由于自重固结、湿陷、地面荷载作用等原因而产生大于基桩的沉降所引起的对桩表面的向下摩阻力。

3.1.13

承载力设计值 **design value of ultimate bearing capacity**

构件按承载能力极限状态设计时,用材料强度设计值计算的构件极限承载能力。

3.1.14

开裂弯矩 **cracking moment**

构件出现裂缝时的理论临界弯矩。

3.1.15

机械连接接头 **mechanical connection joint**

桩节与桩节之间采用机械外接、内接及预埋连接件等方式形成的机械式连接接头。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

3.2.1 作用和作用效应

- F_k ——按荷载效应标准组合计算的作用于承台顶面的竖向力；
 G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值；
 G_p ——基桩自重标准值；
 H_k ——按荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的水平力；
 H_{ik} ——按荷载效应标准组合计算的作用于第 i 根基桩的水平力；
 M_{xk} 、 M_{yk} ——按荷载效应标准组合计算的作用于承台底面的外力,绕通过群桩的形心 x 、 y 主轴的力矩；
 N_k ——相应于荷载效应标准组合时,轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力；
 N_{ik} ——荷载效应标准组合计算的偏心竖向力作用下第 i 根基桩的竖向力；
 $N_{w,k}$ ——浮力设计值；
 Q ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值。

3.2.2 抗力和材料性能

- E_s 、 E_c ——钢筋弹性模量,混凝土弹性模量；
 f_{ck} 、 f_c ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

$f_{cu,k}$ ——边长 150 mm 的混凝土立方体抗压强度标准值；
 f_{tk} 、 f_t ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；
 F_t^w ——对接焊缝的抗拉强度设计值；
 f_n ——填芯混凝土与空心方桩内壁之间的粘结强度设计值；
 f_{yk} 、 f_{ptk} ——普通钢筋、预应力钢筋抗拉强度标准值；
 f_{py} 、 f_{py}' ——预应力钢筋的抗拉、抗压强度设计值；
 N_l ——单桩上拔力设计值；
 P_{max} ——桩身允许抱压压力、锤击施工时最大锤击力；
 Q_{sk} 、 Q_{pk} ——单桩总极限侧阻力标准值、总极限端阻力标准值；
 Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；
 q_{sik} ——单桩第 i 层土的极限侧阻力标准值；
 q_{pk} ——单桩极限端阻力标准值；
 $q_{pk}R_a$ ——单桩竖向承载力特征值；
 R_h ——单桩水平承载力特征值；
 R_p ——桩身结构竖向抗压承载力设计值；
 T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值；
 T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值；
 σ_{con} ——预应力钢筋张拉控制力；
 σ_{p0} ——预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋的应力；
 σ_{pc} ——由预加力产生的混凝土有效预压应力；
 γ ——土的重度。

3.2.3 几何参数

A ——空心方桩横截面积；
 A_0 ——空心方桩换算横截面积；
 A_{pk} ——桩底端横截面积(桩尖水平投影面积)；
 A_p ——纵向预应力钢筋总横截面积；
 a ——焊缝宽度；
 B ——空心方桩边长；
 B_1 ——焊缝外边长；
 B_2 ——焊缝内边长；
 D ——空心方桩内圆孔直径；
 L ——空心方桩长度；
 l_i ——空心方桩穿越第 i 层岩土厚度；
 u ——桩身外周长；
 x_i 、 x_j 、 y_i 、 y_j ——第 i 、 j 根基桩至 y 、 x 轴的距离。

3.2.4 计算系数

K_w ——抗浮稳定安全系数；
 n ——同一桩基承台中的桩数；
 λ_i ——抗拔系数；
 ψ_c ——桩工作条件系数；

φ ——空心方桩受压稳定系数。

4 空心方桩的分类

4.1 空心方桩按混凝土强度等级分为 C60 和 C80,分别为预应力混凝土空心方桩(代号 KFZ)和预应力高强混凝土空心方桩(代号 HKFZ)。

4.2 空心方桩按桩身配筋率不同可分为 A 型、AB 型和 B 型三种类型。

4.3 空心方桩按其边长分为 300 mm、350 mm、400 mm、450 mm、500 mm、550 mm、600 mm、650 mm、700 mm、800 mm、1000 mm 等规格。其中 300 mm 边长 A 型的空心方桩仅适用于地基处理、既有基础加固和构筑物。

5 空心方桩基础设计

5.1 一般规定

5.1.1 岩土工程勘察报告在满足相关规范的前提下,报告中应对拟采用空心方桩基础沉桩的可行性、沉桩产生的挤土效应对周边建(构)筑物、地下管线设施等造成的不良影响进行分析和评价。

5.1.2 空心方桩基础应按下列两类极限状态设计:

- a) 承载能力极限状态:空心方桩基础达到最大承载能力、整体失稳或发生不适于继续承载的变形;
- b) 正常使用极限状态:空心方桩基础达到建筑物正常使用所规定的变形限值或达到耐久性要求的某项限值。

5.1.3 空心方桩基础设计应根据建筑规模、功能特征、差异变形适应性、场地地基和建筑物体形的复杂性以及由于空心方桩基础问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,按表 1 确定设计等级。

表 1 空心方桩基础设计等级

设计等级	建筑类型
甲级	1) 重要的工业与民用建筑; 2) 30 层以上或高度超过 100 m 的高层建筑; 3) 体形复杂且层数相差超过 10 层的高低层(含纯地下室)连成一体建筑物; 4) 大面积的多层地下建筑物(如地下车库、商场、运动场等); 5) 对相邻既有工程影响较大的建筑; 6) 场地和地基条件复杂的 7 层以上的一般建筑; 7) 对地基变形有特殊要求的建筑物; 8) 复杂地质条件下的坡上建筑物(包括高边坡)
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的 7 层及 7 层以下的民用建筑及一般工业建筑;次要的轻型建筑物
桩基础安全等级不应低于上部建筑物的安全等级,设计等级不应低于该建筑物地基基础的设计等级。	

5.1.4 空心方桩基础应根据具体条件分别进行下列承载能力计算和稳定性验算。

- a) 应根据空心方桩基础的使用功能和受力特征分别按 GB 50011 及 JGJ 94 的有关规定进行竖向及水平抗震承载力验算。
- b) 应对空心方桩桩身结构强度和承台结构承载力进行计算;对于桩侧土不排水抗剪强度小于 10 kPa 且长径比大于 50 的空心方桩应进行桩身压屈验算;应对空心方桩在吊装、运输、锤击和

静压等过程中的强度和抗裂进行验算。

- c) 当空心方桩桩端平面以下存在软弱下卧层时,应进行软弱下卧层承载力验算。
- d) 对于抗浮、抗拔空心方桩基础,应进行单桩或群桩的抗拔承载力计算。
- e) 应根据桩基所处的环境类别和相应的裂缝控制等级对空心方桩进行抗裂验算。

5.1.5 下列情况应进行空心方桩基础沉降计算:

- a) 设计等级为甲级的非嵌岩桩和非坚硬持力层的空心方桩基础;
- b) 设计等级为乙级体型复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的空心方桩基础。

5.1.6 对受水平荷载较大,或对水平位移有严格限制的空心方桩基础,应按照 JGJ 94 的相关规定计算其水平位移。

5.1.7 对于 5.1.5 中规定应进行沉降计算的空心方桩基础,在其施工过程及建成后使用期间,应进行系统的沉降观测直至沉降稳定。

5.1.8 桩基结构的耐久性应根据设计使用年限、GB 50010 的环境类别规定以及水、土对钢材、混凝土腐蚀性的评价进行设计。

5.1.9 二类和三类环境中,设计使用年限为 50 年的桩基结构混凝土耐久性应符合 GB 50010、JGJ 94 的规定,四类和五类环境桩基结构混凝土耐久性设计可按 5.3.5 条及 JTJ 267、GB/T 50046 等规范的相关要求执行。

5.1.10 空心方桩混凝土的耐久性试验方法应按照 GB/T 50082 的规定执行。

5.1.11 空心方桩桩身轴心受拉时,裂缝控制等级为一级;桩身受弯时,处于弱腐蚀环境的空心方桩裂缝控制等级为二级;中腐蚀及以上环境的空心方桩裂缝控制等级为一级。

5.1.12 进行空心方桩结构构件的截面承载力计算或验算时,应按 GB 50068 和 GB 50009 的规定执行。

5.2 空心方桩的适用范围、选用与布置

5.2.1 空心方桩的适用范围

5.2.1.1 空心方桩适用于下列条件:

- a) 抗震设防烈度 8 度(0.20g)及以下地区的工业与民用建筑物、构筑物的低承台基桩;
- b) 当用于抗震设防烈度 8 度(0.20g)地区时,轻微液化土地基基础可选用 C80 预应力混凝土空心方桩,Ⅵ类场地土基础不宜采用空心方桩。
- c) 主要承受竖向受压、竖向受拉的低承台桩基;
- d) 素填土、杂填土、淤泥质土、粉土、黏性土、稍密及中密的砂土等场地;
- e) 微腐蚀、弱腐蚀场地;特殊情况下,具有中腐蚀及以上场地若需采用空心方桩基础,应按照 5.3.5 条及相关规范进行专门防腐蚀设计。

5.2.1.2 下列条件下不宜采用空心方桩:

- a) 空心方桩难以贯入、岩面埋藏较浅且倾斜度较大的场地;
- b) 桩端持力层以上覆盖有深厚(从桩顶算起,沿桩身超过 5 m 以上)淤泥、淤泥质土、欠固结土、松散填土等软土层的场地或液化土层较厚(沿桩身超过桩长 50%)的场地,且桩端却直接支承在中风化、微风化岩层上或中风化岩面上只有较薄的强风化岩层;
- c) 桩端持力层为遇水易软化且埋藏较浅的风化岩层;
- d) 位于坡地、岸边、液化扩展地段,承受较大水平荷载的桩基工程;
- e) 空心方桩沉桩施工对周边环境有严重影响时。

5.2.2 空心方桩的选用

空心方桩的选用应符合下列要求。

- a) 应根据工程地质情况、建筑物结构类型、荷载性质、桩的使用功能、沉桩设备(静压、锤击)、施工条件、施工经验等经综合分析后选用。
- b) 空心方桩用作摩擦桩或端承摩擦桩且穿越的坚硬土层较薄时,其长径比不宜大于100。当用作端承桩或摩擦端承桩且需穿越一定厚度较硬土层时,其长径比不宜大于80;在桩侧土不排水抗剪强度小于或等于10 kPa,或以桩身材料强度为控制时,其长径比不宜大于60;桩型宜选用AB型、B型空心方桩。
- c) 抗震设防烈度为8度(0.20g)的高烈度区、软土地基及液化土层宜选用AB型、B型且边长不小于400 mm的空心方桩。当穿越厚度较大的淤泥质土等软弱土层时,应考虑桩的稳定性对承载力降低的影响。
- d) 对弱、中腐蚀及以上场地,应选用AB型、B型空心方桩。
- e) 对主要承受竖向抗拉荷载桩基础工程,宜选用AB型、B型空心方桩。

5.2.3 空心方桩的布置

空心方桩的布置应符合下列要求。

- a) 空心方桩的最小中心距应符合表2的规定。

表2 空心方桩的最小中心距

土类与桩基情况		排数不小于3排且桩数不小于9根的摩擦桩桩基	其他情况
部分挤土桩	非饱和土、饱和非黏性土	3.5 <i>B</i>	3.0 <i>B</i>
	饱和黏性土	4.0 <i>B</i>	3.5 <i>B</i>
挤土桩	非饱和土、饱和非黏性土	4.0 <i>B</i>	3.5 <i>B</i>
	饱和黏性土	4.5 <i>B</i>	4.0 <i>B</i>
当纵横向桩距不相等时,其最小中心距应满足“其他情况”一栏的规定。 注1: 桩的中心距指两根桩横截面中心点之间的距离, <i>B</i> 为空心方桩边长。 注2: “部分挤土桩”指沉桩时采取引孔或应力释放孔、带开口桩尖等措施的桩基础。			

- b) 排列基桩时,宜使桩群承载力合力点与竖向永久荷载合力作用点重合,并使基桩受水平力和力矩较大方向有较大抗弯截面模量。
- c) 在软弱黏性土质地基上大面积布桩时,应控制布桩密度。
- d) 应选择较硬、较厚土层作为桩端持力层(如强风化或全风化岩层、坚硬黏性土层、密实碎石土、砂土、粉土层)。桩端全断面进入持力层的深度(不包括桩尖部分)对于黏性土、粉土不宜小于2.5*B*,砂土不宜小于2.0*B*,碎石土不宜小于1.5*B*,全风化岩不宜小于2.0*B*,强风化岩不宜小于1.5*B*。当存在软弱下卧层时,桩端以下持力层厚度不宜小于5*B*且不小于3 m,并应进行软弱下卧层承载力和群桩沉降验算。当硬持力层较厚且施工条件许可时,桩端全断面进入持力层的深度宜达到桩端阻力的临界深度。

5.2.4 软土地基桩基设计应符合下列原则:

- a) 应考虑挤土效应对沉桩质量、邻近建筑物、道路和地下管线设施等产生的影响,并采取相应技术措施;

- b) 基坑开挖时,应防止土体侧移对桩产生不良影响,应考虑基坑挖土顺序和控制分层开挖厚度,最大开挖分层厚度不应超过1 m;
- c) 软土地带施工大面积密集空心方桩时,应采取有效的消减超孔隙水压力和挤土效应的措施。

5.3 空心方桩基础构造

5.3.1 空心方桩顶部灌注填芯混凝土及其配筋应符合下列要求。

- a) 浇灌填芯混凝土前,应将空心方桩内壁浮浆清理干净,并采用内壁涂刷水泥净浆、混凝土界面剂等措施;填芯混凝土强度等级应高于承台或基础梁一级且不应低于C30微膨胀混凝土。
- b) 桩顶的填芯混凝土应灌注饱满,振捣密实,下封层不应漏浆。
- c) 承压桩填芯混凝土灌注深度不应小于3倍空心方桩边长,且不应小于1.5m;当用于抗震设防烈度8度地区时,填芯长度不应小于空心方桩边长5倍,且不应小于2.0 m。
- d) 承压桩填芯混凝土的连接钢筋配筋率按桩全截面计算,不应小于0.6%,内插筋数量不宜少于6根。当桩顶低于承台需接桩时,连接钢筋的配筋率按接桩截面计算,不应小于0.6%,且接桩的最外一侧构造钢筋不应小于接桩截面的0.15%,钢筋间距不应大于200 mm。
- e) 抗拔桩填芯混凝土连接钢筋,其内插筋数量和长度应通过计算确定,抗拔桩填芯混凝土灌注构造深度不应小于5倍空心方桩边长,且不应小于3.0m;当用于抗震设防烈度8度地区时,填芯长度不应小于空心方桩边长8倍,且不应小于3.5 m。
- f) 当抗拔桩与承台连接方式采用内螺纹刻槽、预埋套筒等措施,并有可靠试验和检测数据结果的情况下,其内螺纹刻槽长度、预埋套筒数量、填芯混凝土内插钢筋数量和长度应通过计算确定,填芯混凝土构造深度不应小于3倍空心方桩边长,且不应小于1.5 m;当用于抗震设防烈度8度地区时,填芯长度不应小于空心方桩边长5倍,且不应小于2.0 m。

5.3.2 空心方桩与承台的连接应符合下列规定。

- a) 桩顶嵌入承台内长度不应小于50 mm,且不应大于100 mm。
- b) 承压空心方桩桩顶采用填芯混凝土内插钢筋与承台连接时,内插钢筋锚入承台内的有效长度不应小于35倍内插钢筋直径,且不应小于500 mm。钢筋插入空心方桩内腔的长度同填芯高度。
- c) 承压(或抗拔)空心方桩采用机械套筒与承台连接时,机械套筒数量应通过构造(或计算)确定,钢筋锚入承台长度应按GB 50010的受拉锚固长度确定。
- d) 抗拔空心方桩采用桩身内的全部纵向钢棒直接与承台锚固时,锚固长度不应小于1 000 mm。
- e) 抗拔空心方桩采用填芯混凝土内插钢筋与承台连接时,填芯插筋数量和填芯长度应通过计算确定,钢筋锚入承台长度应按GB 50010的受拉锚固长度确定,并应通过现场静载荷试验验证。

5.3.3 空心方桩接桩应符合下列规定。

- a) 空心方桩接头处的各项力学指标不应低于桩身,接桩宜在桩尖穿过硬土层后进行。
- b) 承压空心方桩接头宜采用端板焊接或机械连接,接头数量不宜超过3个。
- c) 抗拔空心方桩连接接头应采用机械连接或机械—焊接连接,接头数量不应超过1个。当采用机械连接接头时,上下节桩间的机械连接接头宜位于桩顶10 m以下。机械连接接头处受弯承载力检验值应不小于桩身受弯承载力设计值的1.0倍,受拉承载力检验值应不小于桩身受拉承载力设计值的1.25倍,受剪承载力检验值应不小于桩身受剪承载力设计值的1.1倍。
- d) 机械连接接头应符合耐腐蚀性及腐蚀裕量设计要求,设计工作年限不应低于主体结构的设计工作年限,且不应低于50年。
- e) 处于中腐蚀及以上场地时,上下节桩间宜采用机械—焊接连接方式。

5.3.4 空心方桩基础连接的承台设计应符合下列规定。

- a) 单桩承台,应在两个相互垂直的方向上设置基础梁。

- b) 两桩承台,应在其短向设置基础梁。
- c) 有抗震设防要求的柱下独立承台,宜沿两个主轴方向设置基础梁。
- d) 基础梁顶面宜与承台顶面位于同一标高。基础梁宽度不宜小于 250 mm,其高度可取承台中心距的 1/10~1/15,且不宜小于 400 mm。

5.3.5 防腐设计的空心方桩桩身混凝土的基本要求应符合表 3 的规定。

表 3 桩身混凝土的基本要求

空心方桩桩身混凝土强度等级	最大水胶比	抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 mm	胶凝材料中 Cl ⁻ 含量 %	碱含量 kg/m ³	胶凝材料最少用量 kg/m ³
C60	0.40	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	400
C80	0.35	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	430
注:表中所列基本要求为设计工作年限为 50 年的技术指标。						

5.3.6 空心方桩桩身混凝土在强、中腐蚀环境中的防护要求应符合表 4 的规定,在弱腐蚀环境中可不采取防护措施。

表 4 桩身混凝土防护要求

序号			保护措施和要求		腐蚀性介质和强度等级					
					SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		pH 值	
					强	中	强	中	强	中
1	提高混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150≥0.85	KS120≥0.85	—	—	—	—		
		28d 龄期氯离子迁移系数 D _{RCM} (10 ⁻¹² m ² /s)	—	—	≤4.0	≤7.0	—	—		
2	增加混凝土腐蚀裕量/mm		≥20	≥10	—	—	≥20(30)	≥10(20)		
3	增加接桩钢零件腐蚀裕量/mm		2	2	2	2	2	2		
4	表面涂刷防腐涂层厚度/μm		≥500	≥300	≥500	≥300	≥500	≥300		
<p>桩身混凝土材料根据防腐要求,可采用抗硫酸盐硅酸盐水泥,也可在普通水泥中掺入抗硫酸盐的外加剂、掺入矿物掺和料、钢筋阻锈剂;当桩身混凝土采用或掺入耐腐蚀材料后已能满足防腐性能要求时,可不再采用表中序号为 2、3 和 4 的技术措施。</p> <p>不应采用亚硝酸盐类的阻锈剂。</p> <p>桩身涂刷防腐涂层的长度,应大于污染土层的厚度。</p> <p>当有两类以上介质同时作用时,应分别满足各自防护要求,但相同的防护措施不迭加。</p> <p>注 1: 本表适用设计工作年限为 50 年、桩基础所处的地下水、土的腐蚀介质主要为硫酸盐、氯盐和酸性环境。</p> <p>注 2: 表中“—”表示可不采用此指标控制;括号内数值仅用于 C60 预应力混凝土空心方桩。</p>										

5.3.7 桩端嵌入遇水易软化的强风化岩、全风化岩和非饱和土的预应力混凝土空心方桩,沉桩后应对桩端以上 2 m 左右范围内采取有效的防渗措施,可采用 C40 微膨胀混凝土填芯或在内壁预涂柔性防水材料。

5.3.8 当空心方桩持力层为承压含水层时,应采用封闭桩尖。

5.3.9 液化土中的空心方桩,应满足具体工程抗震承载力计算的要求,适当调整桩身主筋和箍筋的配置,应取桩顶至液化土层底面埋深以下不小于 1.0 m 的范围,且其主筋和箍筋均提高一个规格使用。

5.4 承压空心方桩基础设计

5.4.1 对于一般建筑物和受水平力(包括力矩与水平剪力)较小的高层建筑物且桩径相同的群桩基础,应按下列公式计算群桩中基桩的桩顶作用效应。

a) 竖向力作用下:

轴心竖向力作用下:

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \dots\dots\dots (1)$$

偏心竖向力作用下:

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \dots\dots\dots (2)$$

b) 水平力作用下:

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- F_k —— 荷载效应标准组合下,作用于桩基承台顶面的竖向力;
 G_k —— 桩基承台和承台上土自重标准值,对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力;
 N_k —— 荷载效应标准组合轴心竖向力作用下,基桩的平均竖向力;
 N_{ik} —— 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下,第 i 基桩的竖向力;
 M_{xk}, M_{yk} —— 荷载效应标准组合下,作用于承台底面,绕通过桩群形心的 x, y 主轴的力矩;
 x_i, x_j, y_i, y_j —— 第 i, j 基桩至 y, x 轴的距离;
 n —— 桩基中的桩数。

5.4.2 对于主要承受竖向荷载的抗震设防区低承台桩基,在同时满足下列条件时,桩顶作用效应计算可不考虑地震作用:

- a) 按 GB 50011 规定可不进行桩基抗震承载力验算的建筑物;
b) 建筑场地位于建筑抗震的有利地段。

5.4.3 非液化土中及存在液化土层的桩基抗震验算,应按 GB 50011、JGJ 94 的规定执行。

5.4.4 轴心竖向力作用下,桩基竖向承载力计算应符合下列规定。

a) 作用效应的标准组合:

$$N_k \leq R \dots\dots\dots (4)$$

b) 地震作用效应和作用效应的标准组合:

$$N_{Ek} \leq 1.2R \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- R —— 基桩或复合基桩竖向承载力特征值;
 N_k —— 作用效应标准组合轴心竖向力作用下,基桩或复合基桩的平均竖向力;
 N_{Ek} —— 地震作用效应和作用效应标准组合下,基桩或复合基桩的平均竖向力。

5.4.5 偏心竖向力作用下,桩基竖向承载力计算应符合下列规定:

a) 作用效应的标准组合下,除应符合式(4)的要求外,尚应符合下式规定:

$$N_{kmax} \leq 1.2R \dots\dots\dots (6)$$

b) 地震作用效应和作用效应标准组合下,除应符合式(5)的要求外,尚应符合下式规定:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- N_{kmax} —— 作用效应标准组合偏心竖向力作用下,桩顶最大竖向力;

$N_{Ek\max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下,基桩或复合基桩的最大竖向力。

H_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下,基桩的平均水平力。

5.4.6 受水平荷载作用下,桩基水平承载力计算应符合下式规定:

- a) 作用效应的标准组合下,除应符合式(4)的要求外,尚应符合下式规定:

$$H_{ik} \leq R_h \quad \dots\dots\dots (8)$$

H_{ik} ——作用效应标准组合下,作用于第*i*根基桩桩顶处的水平力;

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值。

5.4.7 单桩竖向承载力特征值应按式(9)确定:

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

R_a ——单桩竖向承载力特征值;

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值;

K ——安全系数,取值为2。

5.4.8 设计采用的单桩竖向承载力特征值应符合下列规定。

- 设计等级为甲级的建筑桩基,应通过单桩静载试验确定。
- 设计等级为乙级的建筑桩基,当地质条件简单时,可参照地质条件相同的试桩资料,结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定;其他情况均应通过单桩静载试验确定。
- 设计等级为丙级的建筑桩基,可根据原位测试和经验参数确定;也可参照地质条件相同的试桩资料,结合静力触探等原位测试和经验参数综合确定。
- 根据上述a)~c)确定的单桩竖向承载力特征值,均不应超过按本文件规定计算的桩身结构强度允许的竖向承载力特征值。
- 地基基础设计等级为甲、乙级的空心方桩基础,当采用静载试验法确定桩基承载力时,试验数量为单位工程总桩数的1%,并不少于3根;总桩数小于50根的,不少于2根。对于地基基础设计等级为丙级的空心方桩基础,宜参考本条执行。
- 当同一工程多幢建筑物工程桩的单桩承载力性能和工程地质条件均相同时,可按上述要求确定试桩数量,但每个建筑单体的单桩静载试桩数量不应少于1根。

5.4.9 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向极限承载力标准值时,宜按式(10)估算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_{pk} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

q_{sik} ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值,按岩土工程勘察报告提供的数值;

q_{pk} ——极限端阻力标准值,按岩土工程勘察报告提供的数值;

A_{pk} ——桩底端横截面面积(桩尖水平投影面积);当采用开口型桩尖时,按闭口型桩尖计算水平投影面积;

u ——桩身外周边长度;

l_i ——桩穿越第*i*层土的厚度。

5.4.10 除按地基岩土条件确定空心方桩的竖向承载力特征值外,桩身混凝土强度还应满足桩的抗压承载力设计要求。对于轴向受压的空心方桩,当不考虑桩身构造配筋的作用时,应符合下列规定:

$$Q \leq R_p \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Q ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值;

R_p ——桩身混凝土强度允许的竖向承载力设计值。

5.4.11 桩身混凝土强度允许的竖向承载力设计值(按轴心受压计算):

- a) 不考虑空心方桩压屈影响时,应按式(12)计算:

$$R_p = \phi_c f_c A \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,按 GB 50010 的规定取值;

A ——空心方桩横截面面积;

ϕ_c ——空心方桩工作条件系数(0.55~0.65),可结合地区经验和 JGJ 94 的有关规定进行验算后综合确定。

- b) 当空心方桩穿越液化土、淤泥、淤泥质土或不排水抗剪强度小于 10kPa 且长径比大于 50 的软弱土层的空心方桩基础,应考虑空心方桩压屈的影响,考虑空心方桩压屈影响时,应按式(13)计算:

$$R_p = \varphi \phi_c f_c A \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

φ ——空心方桩受压稳定系数,按 JGJ 94 的规定取值。

- c) 空心方桩其他的力学性能按附录 C 相关内容计算。

5.4.12 现场试验单桩水平承载力不应大于桩身抗剪承载力。单桩水平静载试验应按 JGJ 106 的相关规定执行,试验数量同竖向载荷试验。

5.4.13 空心方桩基础的沉降量验算及建筑物的沉降允许值应按 GB 50007 及 JGJ 94 中的相关规定执行。

5.4.14 空心方桩基础应考虑特殊场地土对空心方桩基础的影响,并应当符合下列规定。

- a) 软土地区桩周土因自重固结、蠕变、大面积堆载、地下水位降低等影响而产生大于桩的沉降时,应考虑由此引起的桩侧负摩阻力对桩竖向抗压承载力的影响。在深厚软土中采用大片密集空心方桩时,应采取消减孔隙水压力和挤土效应的技术措施,并控制沉桩速率。
- b) 膨胀土地区、岩溶地区、液化土横向扩展地区等特殊条件下的空心方桩基础,参照 JGJ 94 的相关规定执行。

5.4.15 抗震设防区空心方桩的设计原则应符合下列规定。

- a) 桩进入液化土层以下稳定土层的长度(不包括桩尖部分)应按计算确定;对于碎石土,砾、粗、中砂,密实粉土,坚硬黏性土尚不应小于 3 倍桩身边长;对其他非岩石土尚不宜小于 5 倍桩身边长。
- b) 承台和地下室侧墙周围应采用灰土、级配砂石、压实性较好的素土回填,并分层夯实,也可采用素混凝土回填。
- c) 当承台周围为可液化土或地基承载力特征值小于 40kPa(或不排水抗剪强度小于 15 kPa)的软土,且桩基水平承载力不满足计算要求时,可将承台外每侧 1/2 承台边长范围内的土进行加固(不宜小于承台长边的 1/2)。

5.4.16 当承台的混凝土强度等级低于柱或桩的混凝土强度等级时,应验算柱下或桩上承台的局部受压承载力。

5.4.17 空心方桩基础承台构造及其承载力验算应满足 JGJ 94 的相关规定要求。

5.4.18 对有可能出现负摩阻力的空心方桩基础可采用以下措施。

- a) 对于填土建筑场地,宜先填土并保证填土的密实性,软土场地填土前应采取预设塑料排水板等措施,待填土地基沉降基本稳定后方可沉桩。
- b) 对于有地面大面积堆载的建筑物,应采取减小地面沉降对建筑物桩基影响的措施。
- c) 对于欠固结土宜采取先期排水预压等措施,或采用强夯、挤密土桩等先行处理。

- d) 对于挤土沉桩,应采取消减超孔隙水压力、控制沉桩速率等措施。
- e) 当桩周土层产生的沉降超过基桩的沉降时,在计算基桩承载力时应计入桩侧负摩阻力。

5.5 抗拔空心方桩基础设计

5.5.1 承受拔力的桩基,应按式(14)和式(15)同时验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩抗拔承载力:

$$(T_{gk}/2 + G_{gp})/N_{w,k} \geq K_w \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$(T_{uk}/2 + G_p)/N_{w,k} \geq K_w \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$N_{w,k}$ ——浮力设计值,单位为千牛(kN);

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值,单位为千牛(kN),可按 5.5.3 确定;

T_{uk} ——群桩呈现非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值,单位为千牛(kN),可按 5.5.3 确定;

G_{gp} ——群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数,地下水位以下取浮重度,单位为千牛(kN);

G_p ——基桩自重,地下水位以下取浮重度,单位为千牛(kN);

K_w ——抗浮稳定安全系数,按 JGJ 476—2019 中表 3.0.3 抗浮工程设计等级相关要求取值。

5.5.2 群桩基础及其基桩的抗拔极限承载力的确定应符合下列规定。

- a) 基桩的抗拔极限承载力应通过现场单桩上拔静载荷试验确定。检测数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%,不应少于 3 根。单桩上拔静载荷试验及抗拔极限承载力标准值取值可按 JGJ 106 进行。

- b) 初步设计时,基桩的抗拔极限承载力取值可按下列规定估算。

- 1) 群桩呈非整体破坏时,基桩的抗拔极限承载力标准值可按式(16)计算:

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u l_i \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

T_{uk} ——基桩抗拔极限承载力标准值;

u ——桩身周长,对于空心方桩取 $u = 4B$;

l_i ——桩侧第 i 层土的厚度;

q_{sik} ——桩侧表面第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值,按工程勘察报告提供的数值;

λ_i ——抗拔系数按岩土工程勘察报告取值。

- 2) 群桩呈整体破坏时,基桩的抗拔极限承载力标准值可按式(17)计算:

$$T_{gk} = \frac{1}{n} u_1 \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:

u_1 ——桩群外围周长;

n ——桩数。

5.5.3 空心方桩用作抗拔桩时,应进行桩身结构强度、接桩连接强度、端板孔口抗剪强度、钢棒及其锚头抗拉强度、桩顶(采用填芯混凝土)与承台连接处强度等承载力验算。确定单桩抗拔承载力时,应分别按下列规定验算,并按最不利处的抗拉强度确定空心方桩的抗拉承载力。

- a) 根据空心方桩桩身结构强度确定单桩抗拔承载力时,按下列公式验算。

- 1) 当空心方桩桩身轴心受拉时,应按一级裂缝控制等级进行验算:

$$N_1 \leq \sigma_{pc} A \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中:

N_1 ——空心方桩单桩上拔承载力设计值;

σ_{pc} ——空心方桩混凝土有效预压应力;

A ——空心方桩横截面面积。

2) 用于空心方桩桩身轴心受拉承载力检测时,应按二级裂缝控制等级进行验算:

$$N_1 \leq (\sigma_{pc} + f_{tk})A \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

f_{tk} ——桩身混凝土轴心抗拉强度标准值。

b) 根据空心方桩接桩连接处强度确定单桩抗拔承载力时,宜同时考虑机械连接和焊接连接的连接强度。机械连接应按有关规范规定进行计算。焊接连接可按式(20)验算:

$$N_1 \leq (B_1^2 - B_2^2) f_t^w \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

N_1 ——空心方桩单桩上拔力设计值;

B_1 ——焊缝外边长,单位为毫米(mm),取 $B_1 = B - 5$, B 为空心方桩边长;

B_2 ——焊缝内边长,单位为毫米(mm),取 $B_2 = B_1 - 2a$, a 为焊缝径向厚度;

f_t^w ——焊缝抗拉强度设计值。

c) 根据空心方桩端板孔口(预应力钢筋锚头锚固处,图1)抗剪强度确定单桩抗拔承载力时,按式(21)验算:

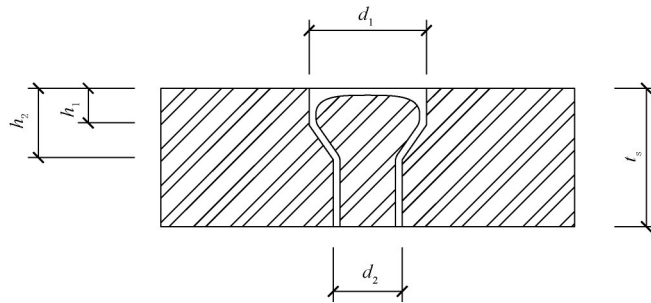


图1 端板与预应力钢筋连接示意图

$$N_1 \leq n\pi \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \left(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) f_v \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

N_1 ——空心方桩单桩上拔承载力设计值;

n ——预应力钢筋数量,单位为根;

d_1 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口直径,单位为毫米(mm);

d_2 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口直径,单位为毫米(mm);

h_1 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口距端板顶距离,单位为毫米(mm);

h_2 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口距端板顶距离,单位为毫米(mm);

f_v ——端板抗剪强度设计值;

t_s ——端板厚度。

d) 根据预应力钢筋锚头抗拉强度确定单桩抗拔承载力时,按式(22)验算:

$$N_1 \leq 0.9 f_{py} A_p \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

N_1 ——空心方桩单桩上拔承载力设计值;

f_{py} ——预应力钢筋抗拉强度设计值,单位为兆帕(MPa);

A_p ——预应力钢筋总横截面面积,单位为平方毫米(mm²)。

e) 根据腔内填芯微膨胀混凝土(不低于 C30)确定单桩抗拔承载力时,按式(23)验算(采用机械套

筒等方法与承台连接时,其抗拔承载力应通过现场试验、计算和构造综合确定):

$$N_1 \leq K_1 \pi d_1 f_n l \dots\dots\dots (23)$$

式中:

- N_1 ——空心方桩单桩上拔承载力设计值;
- K_1 ——经验系数,取 0.8;
- d_1 ——填芯混凝土直径(空心方桩内径),单位为毫米(mm);
- l ——填芯混凝土长度,单位为毫米(mm);
- f_n ——填芯混凝土与空心方桩内壁混凝土的极限摩阻系数标准值,宜由现场试验确定。当缺乏试验时,建议取 C30 微膨胀混凝土为 0.3 MPa~0.4 MPa。

5.5.4 空心方桩的抗拔承载力设计值应取 5.5.2 和 5.5.3 中各式验算结果的最小值。

5.5.5 带地下室的建筑物在基础施工期间,应按实际情况进行相关抗浮验算,并采取降低地下水位的措施,避免空心方桩处于受拉状态。

6 空心方桩的原材料、构造、质量和制作要求

6.1 原材料

6.1.1 水泥应采用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或免压蒸管桩硅酸盐水泥,其质量应符合 GB 175、GB/T 34189 的有关规定。

6.1.2 骨料符合下列规定。

- a) 细骨料宜采用天然硬质中粗砂或机制砂,不应采用海砂。天然砂的细度模数宜为 2.5~3.2,含泥量不宜大于 1%;采用机制砂时,细度模数可为 2.5~3.5,当 MB 值不大于 1.4 或快速试验合格时,石粉含量不宜大于 5%,且泥块含量为 0.2%,当 MB 值大于 1.4 或快速试验不合格时,石粉含量不宜大于 1%,且泥块含量为 0.2%,机制砂的单级最大压碎指标不应大于 20%。细骨料中氯离子含量不应大于 0.01%,硫化物及硫酸盐含量不应大于 0.5%,其他质量应符合 GB/T 14684 中 I 类砂的规定。
- b) 粗骨料宜采用碎石或破碎的卵石,母岩强度不宜低于 120N/mm²,压碎指标不宜大于 10%,其最大粒径不应大于 25 mm,且不应超过钢筋净距的 3/4,质量应符合 GB/T 14685 中 I 类碎石的规定,且针状、片状颗粒含量不应大于 5%,含泥量不大于 0.5%,且泥块含量为 0.1%,硫化物及硫酸盐含量不大于 0.5%,碎石的岩体抗压强度宜大于所配混凝土强度的 1.5 倍。
- c) 对于有抗渗、抗腐蚀或其他特殊要求的空心方桩,其所使用的骨料应符合相关标准的规定。

6.1.3 混凝土拌和用水的质量应符合 JGJ 63 的规定。

6.1.4 外加剂质量应符合 GB 50119 的规定,不应使用氯盐类外加剂,宜优先采用高效减水剂。

6.1.5 掺和料宜采用硅砂粉、矿渣微粉、粉煤灰或硅灰,硅砂粉的质量应符合 JC/T 950—2005 中表 1 的有关规定;矿渣微粉的质量不应低于 GB/T 18046—2017 表 1 中 S95 级的有关规定;粉煤灰的质量不低于 GB/T 1596—2017 中 II 级 F 类的有关规定;硅粉的质量应符合 GB/T 18736—2017 中表 1 的有关规定。当采用其他品种的掺和料时,应通过试验鉴定,确认符合空心方桩混凝土质量要求时,方可使用。

6.1.6 空心方桩制作按生产工艺分:长线台模制作、短线台模制作;按混凝土布料方式分:开模布料、合模泵送。同时,制作空心方桩的混凝土质量等级应符合 GB 50164 的规定,空心方桩混凝土强度等级分别为 C60、C80,其强度指标及弹性模量按表 5 采用。

表 5 混凝土强度指标及弹性模量

单位为兆帕

混凝土强度等级	轴心抗压强度标准值 f_{ck}	轴心抗压强度设计值 f_c	轴心抗拉强度标准值 f_{tk}	轴心抗拉强度设计值 f_t	混凝土弹性模量 E_c
C60	38.5	27.5	2.85	2.04	3.60×10^4
C80	50.2	35.9	3.11	2.22	3.80×10^4

6.1.7 钢材符合下列规定。

- a) 预应力钢筋宜采用预应力混凝土低松弛螺旋槽钢棒(代号 PCB—1420—35—L—HG),其质量应符合 GB/T 5223.3 的规定。预应力混凝土用钢棒的几何特性、理论质量及力学性能应分别符合表 6 和表 7 的要求。

表 6 预应力混凝土用钢棒的几何特性及理论质量

公称直径 mm	公称截面积 mm^2	理论质量 kg/m
7.1	40.0	0.314
7.9	49.0	0.385
9.0	64.0	0.502
9.5	71.0	0.557
10.7	90.0	0.707
11.0	95.0	0.745
12.6	125.0	0.981
14.0	154.0	1.209

注 1: 公称直径:设计采用的直径,按有效面积换算成圆的直径,本文件均用公称直径表示。

注 2: 基本直径:钢筋的外接圆直径。除基本直径 7.25 mm 的允许偏差为 $\pm 0.15 \text{ mm}$ 外,其余的基本直径允许偏差均为 $\pm 0.20 \text{ mm}$ 。

注 3: 公称截面积:横截面面积等于圆形光面钢筋公称直径的面积,本文件均按公称截面面积计算。

注 4: 根据需要也可采用其他公称直径的预应力混凝土用钢棒。

- b) 预应力钢筋的张拉采用应力、应变双向控制法,但以应力控制为主。控制应力 $\sigma_{con}=0.7f_{ptk}$,其中 f_{ptk} 为钢筋的抗拉强度标准值。

表 7 预应力混凝土低松弛螺旋槽钢棒的力学性能

符号	极限抗拉强度标准值 f_{ptk} MPa	抗拉强度设计值 f_{py} MPa	抗压强度设计值 f'_{py} MPa	断后伸长率 %	弹性模量 E_s MPa	1 000 h 应力松弛率 %
φ^D	1420	1005	400	≥ 7.0	2.0×10^5	≤ 2.0

注:螺旋槽钢规定塑性延伸强度不小于 1 280 MPa。

- c) 螺旋筋宜采用低碳钢热轧圆盘条、混凝土制品用冷拔低碳钢丝,其质量应分别符合 GB/T 701、JC/T 540 的相关规定。用乙级冷拔低碳钢丝作螺旋箍筋,其力学性能应符合表 8 的规定。

表 8 乙级冷拔低碳钢丝的力学性能

符号	抗拉强度标准值 f_{yk} MPa	抗拉强度设计值 f_y MPa	抗压强度设计值 f'_y MPa	断后伸长率 %	弹性模量 E_s MPa
ϕ^b	550	320	—	2.5	2.05×10^5

- d) 端板的材质性能应符合 JC/T 2239 的要求,桩尖及桩套箍的材质性能应符合 GB/T 700 中 Q235B 的规定。
- e) 焊接可采用气体保护电弧焊、氩弧焊等形式。桩节、桩尖等制作过程中的焊缝质量不应低于二级,沉桩过程中的现场焊缝质量除注明外,均不低于二级。
- 6.1.8 机械接头连接件的材质性能应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 3077 的规定。
- 6.1.9 所使用的原材料在空心方桩制作前,其质量应按国家对各项材料的有关规定进行复检,确认符合空心方桩制作质量要求后,方可使用。

6.2 构造和质量要求

- 6.2.1 预应力混凝土空心方桩预应力筋配筋率不宜小于 0.5%(抗拔桩不宜小于 0.6%),并不宜少于 12 根。
- 6.2.2 空心方桩各部分的构造要求应符合表 9 和表 10 的要求,空心方桩构造示意详见附录 H。。

表 9 空心方桩的构造要求

单位为毫米

空心方桩 边长	螺旋箍筋				桩最外层钢筋 的保护层厚度	桩端板边长
	直径	桩端加密区		非加密区		
		间距	长度	间距		
300	≥ 4	50	不小于 4 倍边 长且大于 2 000	80	≥ 35	297
350	≥ 4					347
400	≥ 4					397
450	≥ 5					447
500	≥ 5					497
550	≥ 5					547
600	≥ 6					597
650	≥ 6					647
700	≥ 6					697
800	≥ 7					797
1000	≥ 8					997

表 10 空心方桩的端板允许最小厚度

单位为毫米

预应力筋直径	7.1	9.0	10.7	12.6
最小厚度	≥ 16	≥ 18	≥ 20	≥ 24

6.2.3 空心方桩各部位的尺寸允许偏差应符合表 11 的规定。

表 11 空心方桩尺寸允许偏差及检查方法

序号	检查项目		允许偏差	检查工具和检查方法	测量工具 分度值/ mm
1	长度 L /mm		$\pm 0.5\%L$	用钢卷尺测量,精确至 1 mm	1
2	桩端部倾斜		$\leq 0.5\%B$	将直角靠尺的一边紧靠桩身,另一边与端板紧靠,测其最大间隙处,精确至 1 mm	0.5
3	边长 B	≤ 600 mm	$+4$ -2	用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两边长,取其平均值,精确至 1 mm	1
		> 600 mm	$+5$ -2		
4	内径 D /mm		0 -20	用卡尺或钢直尺在同一断面相互垂直的方向测定两处内径,取其平均值,精确至 1 mm	1
5	最小壁厚 t /mm		$+10$ 0	用卡尺或钢直尺在同一断面最小壁厚相互垂直四处测其壁厚,取其平均值,精确至 1 mm	0.5
6	保护层厚度/mm		$+5$ 0	用深度游标卡尺在空心方桩中部同一断面的两处不同部位测量,精确至 0.1 mm	0.05
7	桩身弯曲度	$L \leq 15$ m	$\leq L/1\ 000$	将拉线紧靠桩的两端部,用钢直尺测量其弯曲处的最大距离,精确至 1 mm	0.5
		$15\text{ m} < L \leq 30$ m	$\leq L/2\ 000$		
8	空心方桩边长 ≤ 400 mm,张拉螺栓孔深超过端板厚度/mm		$+5$ 0	用钢卷尺垂直插入张拉螺栓孔测量,精确至 1 mm	0.5
9	端板端面平面度		≤ 0.5	用钢直尺立起横放,在端板面上缓慢旋转,用塞尺测量最大间隙,精确到 0.1 mm	0.02

6.2.4 空心方桩各部位的外观质量要求应符合表 12 的规定。

表 12 空心方桩的外观质量要求

序号	项目	质量要求	检查工具和检查方法	测量工具 分度值/mm
1	粘皮和麻面	局部粘皮和麻面累计面积不大于桩总外表面的 0.5%;每处粘皮和麻面的深度不大于 5 mm,且应做有效的修补	用钢直尺和钢卷尺测量粘皮和麻面的尺寸并计算其面积;用游标卡尺测量粘皮和麻面的深度,精确至 1 mm	0.5
2	桩身合缝漏浆	漏浆深度不大于 5 mm,每处漏浆长度不大于 300 mm,累计长度不应大于桩长度的 10%,或对称漏浆的搭接长度不大于 100 mm,且应做有效的修补	漏浆长度:用钢卷尺测量,精确至 1 mm	0.5
			漏浆深度:用钢丝插入漏浆处孔隙,然后用游标卡尺测量钢丝的深度检测值,精确至 1 mm	0.5
3	混凝土局部磕损	局部磕损不应大于 5mm,每处面积不应大于 50cm ² ,且应做有效的修补	用钢直尺和钢卷尺测量混凝土局部磕损处的尺寸并计算其面积;用游标卡尺测量混凝土局部磕损处的深度,精确至 1 mm	0.5

表 12 空心方桩的外观质量要求（续）

序号	项目		质量要求	检查工具和检查方法	测量工具 分度值/mm
4	内外表面 露筋		不准许	目测	—
5	表面裂缝		不应出现环向和纵向裂缝,但龟裂、水纹和内壁浮浆层中的收缩裂纹不在此限	用20倍读数放大镜测量,精确至0.01 mm	0.01
6	桩端面 平整度		桩端面混凝土和预应力钢筋锚头不应高出端板平面	目测	—
7	断筋、脱头		不准许	目测	—
8	内表面混凝土 塌落		不准许	目测	—
9	桩与端 板结合 面	漏浆	漏浆深度不大于10 mm,漏浆长度不大于桩横截面周长的1/4,每处漏浆长度不大于30 mm,且应做有效的修补	漏浆长度:用钢卷尺测量,精确至1 mm	1.0
				漏浆深度:用钢丝插入漏浆处孔隙,然后用游标卡尺测量钢丝的深度检测值,精确至1 mm	0.5
		空洞及 蜂窝	不准许	目测	—
10	桩内壁浮浆		离心成型后内壁浮浆应清除干净,不计入壁厚	目测	—
11	张拉螺栓 孔深		空心方桩边长 ≤ 400 mm,张拉螺栓超过端板厚的孔深不应大于5 mm	用钢直尺测量张拉螺栓孔的深度,精确至1 mm	0.5

6.2.5 空心方桩检验分出厂检验和型式检验。出厂检验与型式检验的条件、项目、抽样与判定规则等应符合 JG/T 197 的规定。空心方桩桩身的开裂弯矩及极限弯矩检验值应符合附录 A、附录 B 的规定。

6.2.6 出厂空心方桩应有产品合格证,桩身两端应有标记。产品合格证内容包括:制造厂的厂名或注册商标、合格证编号、生产日期、空心方桩类型、空心方桩型号、边长、内径、混凝土强度等级和单节长度等。抗拔空心方桩除上述标记外,还要有明显的抗拔标识,凡与承台连接的桩节,应在桩端侧面标向上箭头标记;对于桩节之间的抗拔机械接头,宜在桩端表面做好定位标记。

6.2.7 桩节之间的桩端宜设置锚固钢筋,抗拔空心方桩在桩节之间的桩端应设置锚固钢筋;锚固钢筋应采用非预应力筋,按桩身净截面积配筋率不应小于 0.5%,并不应少于 4 根,有效长度不应小于 35 倍锚固钢筋直径。

6.2.8 承压空心方桩可采用焊接连接、机械连接方式或机械-焊接连接方式。抗拔空心方桩应采用机械连接方式或机械-焊接连接方。机械连接接头应按规定进行机械连接接头受拉承载力检验、机械连接接头受弯承载力检验、机械连接接头受剪承载力检验,其机械连接接头的力学性能按 5.5 中的规定计算,机械连接的主要强度指标应由检测机构检测后方可应用于工程。

6.2.9 空心方桩桩尖宜采用钢板制作,其材质应符合 GB/T 699 或 GB/T 700 的有关规定,机械性能不宜低于 Q235B 的要求。制作及焊接应符合 GB 50205 的有关规定。

6.3 制作要求

6.3.1 制作空心方桩用钢模板应具有足够的刚度,严格控制钢模板的变形。应采用效果可靠的隔离剂,选择对钢筋污染小且易清洗的材料做隔离剂,如采用高碳皂加水(1:5),涂刷隔离剂应保证均匀一致,严防漏刷和雨淋。

6.3.2 预应力钢筋的加工制作应符合下列规定。

- a) 所采用的预应力钢筋不应有两证(生产许可证、钢材合格证),并按现行相关规定进行复验。
- b) 预应力钢筋应清除油污,切断前应保持平直,不应局部弯曲,切断后端面应平整。
- c) 预应力钢筋的下料长度应由计算确定。计算时应考虑空心方桩长度、端板厚度、镦头预留量、张拉伸长值、弹性回缩量等因素。
- d) 预应力张拉设备应定期校验,保证张拉准确可靠。张拉时,测力计误差不应大于3%,否则应重新标定。
- e) 预应力钢筋的锚具不应稳固。张拉时应采取可靠的防护措施,防止抽滑伤人。
- f) 采用先张法施工预应力工艺时,预应力钢筋的张拉应力取钢筋抗拉强度标准值的0.70倍。
- g) 同一节桩中预应力钢筋长度的相对差值,长度不大于15 m时不应大于1.5 mm,长度大于15 m时不应大于2 mm。预应力钢筋镦头部位强度不应低于该材料标准强度的90%。钢筋镦头制作应按照JC/T 966的规定执行。
- h) 采用焊接骨架时,预应力钢筋与螺旋箍筋焊接点强度损失不应大于该材料标准强度的5%。

6.3.3 混凝土浇灌应符合下列要求。

- a) 向钢模内浇灌混凝土,宜采用喂料机沿钢模长度方向均匀布料。靠两端各1m范围内,不应浇灌坍落度偏大的混凝土,且应保证混凝土量不少于钢模长度内平均需要量。
- b) 每个钢模内浇灌的混凝土应采取定量控制,并应在混凝土浇灌完毕前,对钢筋骨架予以修复处理。
- c) 混凝土从搅拌开始到离心完毕的时间,不应超过水泥初凝时间。
- d) 颗粒级配应保证混凝土浇灌密实。每立方米混凝土的最大水泥用量不宜大于550kg。
- e) 混凝土应根据工艺控制合适的坍落度。
- f) 混凝土不应应用搅拌机充分搅拌,搅拌的最短时间应根据工艺及各生产企业试验结果确定。
- g) 配制混凝土时,混凝土原材料称量允许误差:水泥、水、外加剂溶液为 $\pm 1\%$,粗、细骨料为 $\pm 2\%$ 。
- h) 混凝土浇灌完毕后,应将钢模两边及企口内落入的混凝土认真清理干净,然后将上扇钢模对号吊装到下扇钢模上,两端对齐。两边接口处的螺栓均应拧紧,力求紧固力基本一致。

6.3.4 空心方桩成型应符合下列要求。

- a) 空心方桩采用离心工艺成型,离心作用按低速、中低速、中速、高速四个阶段进行。离心工艺成型应根据产品的不同规格设定不同的工艺参数。
- b) 离心完毕后,应将混凝土离出的水泥浆全部倒净。空心方桩内壁混凝土若有溜塌及离心前产生的混凝土早凝现象,应及时处理。

6.3.5 空心方桩养护应符合下列要求:经离心成型的空心方桩应采用蒸汽养护,蒸养制度可根据所用原材料及设备条件经试验确定。

6.3.6 放张、脱模应符合下列要求。

- a) 空心方桩脱模放张时,与空心方桩相同条件养护下混凝土立方体抗压强度标准值不应低于桩身混凝土设计强度的75%。
- b) 放张时,预应力钢筋应对称放张。
- c) 空心方桩脱模后,应及时清除粘结在端板、预应力钢筋镦头上的水泥浆以及突出于端板表面的

混凝土。

7 空心方桩基础施工

7.1 一般规定

7.1.1 空心方桩施工前,应具备下列文件及资料。

- a) 施工场地的岩土工程勘察报告、国土及规划部门测量验收报告。
- b) 经审查合格的空心方桩基础的施工图设计文件及设计交底、图纸会审和沉桩技术交底记录。
- c) 经审查批准的施工组织设计或施工方案。
- d) 选择适合本工程施工的沉桩设备(锤击或静压),提供沉桩设备的技术性能资料、施工工艺的试验参考资料;将桩机安装就位,校验校定,试运行正常。
- e) 空心方桩的产品合格证及产品说明书。产品合格证应包括:合格证编号,采用标准,空心方桩品种、规格、型号及长度,制造日期,厂名、出厂日期,出厂检验合格章,检验员签名或盖章(可用检验员代号表示)。
- f) 清理施工场区内影响打桩的高空及地下障碍物。遇架空高压线应做好安全防护;判断可能影响施工或受施工影响的范围和程度,作出相应的安全技术措施;对可能受打桩施工影响范围内的建(构)筑物,应由有资质的鉴定单位对其作出鉴定,做好记录。
- g) 施工场地的地面应平整,排水通畅,坡度不大于1%,承压能力应满足打桩机稳定和空心方桩运输堆放的要求。
- h) 在不受施工影响的地方设置基桩轴线的水准基点,并按施工要求标注轴线定位控制点,且标记明显并做好保护。
- i) 搭建施工的临时设施,保证水、电、路畅通,并满足安全文明施工要求。
- j) 按计划首批空心方桩进场且验收合格。

7.1.2 沉桩顺序应符合下列规定:

- a) 沉桩顺序应在施工组织设计或施工方案中确定;
- b) 布桩较密集且距周边建(构)筑物较远、施工场地较开阔时,宜从中间开始向四周进行;布桩密集、场地狭长、两端距建(构)筑物较远时,宜从中间开始向两端进行;若布桩密集且一侧靠近建(构)筑物时,宜从毗邻建(构)筑物的一侧开始由近及远地进行;
- c) 宜先长桩,后短桩;
- d) 宜先大尺寸桩,后小尺寸桩;
- e) 宜先主楼(高层)桩,后裙房(低层)桩;
- f) 宜先密距桩,后疏距桩;
- g) 空心方桩间距小于3.5倍空心方桩边长时,宜采用跳打。

7.1.3 当打桩施工可能影响附近建(构)筑物时,应采取减少振动和挤土影响的措施。必要时,应对受影响的建(构)筑物进行加固处理并设观测点。

7.1.4 为减少打桩引起的振动和挤土影响,宜采用下列一种或多种技术措施:

- a) 合理安排打桩顺序;
- b) 采用“重锤低击”法施工;
- c) 引孔;
- d) 设置袋装砂井或塑料排水板;
- e) 设置非封闭式地下隔离墙;
- f) 开挖地面防挤(振)沟;

g) 控制每天沉桩数量。

7.1.5 设有大面积地下室的空心方桩基础工程,打桩与基坑围护结构施工先后顺序应经过可行性研究后确定。有深基坑围护结构的空心方桩基础工程,宜先打工程桩再施工基坑的围护结构;自然放坡基坑中先挖土后打桩的空心方桩基础工程,应加强对边坡的监测,并采取有效措施保持边坡稳定。

7.1.6 工程桩施工前应进行不少于 3 根桩的试沉桩,以核对地质资料的正确性、检验沉桩机械选用的合理性,并确定打桩控制参数及施工停止沉桩的标准。

7.1.7 试沉桩应符合下列规定:

- a) 试沉桩的类型规格、长度及地质条件应与工程桩一致;
- b) 试沉桩应选在地质勘探孔附近;
- c) 试沉桩施工机械条件应与工程桩一致;
- d) 用静载法进行测试,有条件时静载试验宜加载至桩的极限荷载。

7.1.8 施工用空心方桩在施打前应双控,即桩的混凝土强度应达到 100% 的设计强度,同时应满足锤击、静压空心方桩混凝土龄期常温养护不小于 28 d 和蒸汽养护空心方桩混凝土龄期不小于 3 d 的要求。

7.1.9 对于桩身接头焊接外露部分宜作防锈处理。

7.1.10 空心方桩桩尖有开口型钢桩尖和闭口型钢桩尖,具体应根据地质条件和设计要求选用。桩端持力层为遇水易软化的风化岩(土)层时,应采用封口型桩尖,且焊缝应连续饱满不渗水。

7.2 装卸和堆放

7.2.1 空心方桩装卸应符合下列规定:

- a) 空心方桩在装卸过程中应轻起轻放,严禁抛掷、碰撞、滚落;
- b) 空心方桩单节长度经验算符合钩吊要求的,可以采用专用吊钩直接钩住空心方桩两端内壁水平起吊,吊绳与空心方桩夹角不应小于 45° ;
- c) 对单节长度不符合钩吊要求的,应按设计要求的吊点进行吊运。施工时空心方桩长度不大于 15 m 且符合 JC/T 2029 规定的单节长度时,宜采用两点起吊,吊绳与空心方桩夹角不应小于 45° ,吊点距离两桩端为 $0.21L$,吊点位置允许偏差为 ± 20 cm [如图 2a) 所示]或按图 2b) 所示方式移桩,长度大于 15m 的空心方桩或拼接桩,应采用不少于 4 个吊点进行起吊,吊点位置应另行验算。

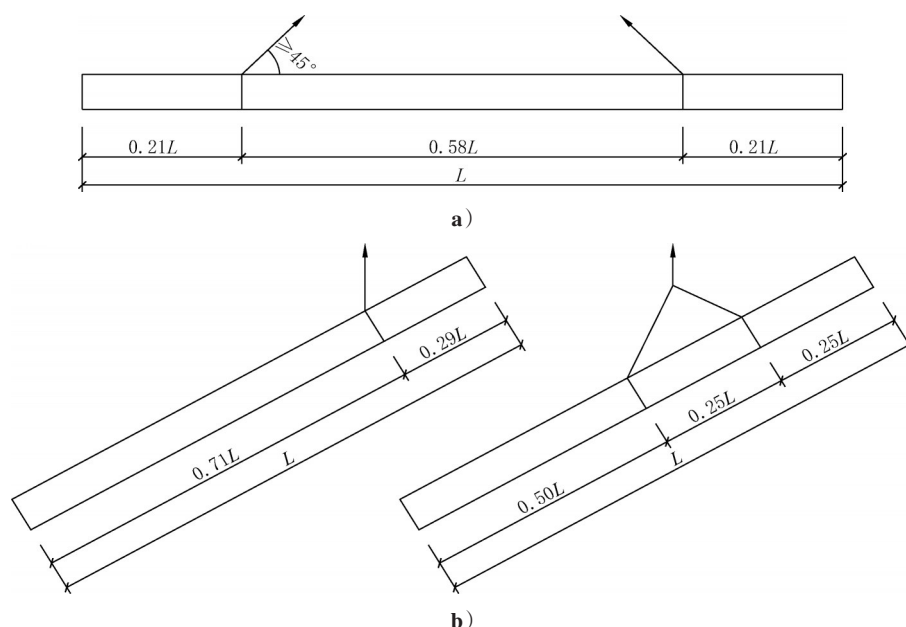


图2 空心方桩起吊方式

7.2.2 空心方桩现场堆放应符合下列规定。

- a) 堆放场地应平整坚实,并应有排水措施。
- b) 按不同规格、长度及施工流水顺序分别堆放,并做好标识;条件许可时宜采用“即用即送”的组织方法进行供桩,减少二次搬运及堆存。
- c) 当场地及供桩条件许可时,宜单层放置;叠层堆放时,应在垂直于方桩长度方向的地面上设置两道垫木,垫木支点应分别位于距桩端 0.21 倍桩长处,底层最外缘的空心方桩应在垫木处用木楔塞紧防止空心方桩滚动。垫木不准许用软垫木楔、腐朽木。若堆场地基经过特殊处理,也可采用着地平放。
- d) 堆放层数应根据空心方桩强度、地面承载力、垫木及堆垛稳定性等综合分析确定,工厂堆放按表 13 的规定执行,施工现场堆放不应超过 2 层。

表 13 预应力混凝土空心方桩工厂堆放层数

空方边长/mm	300	350	400	450	500
堆放层数	≤7	≤7	≤6	≤6	≤5
空方边长/mm	550	600	650~700	800	1 000
堆放层数	≤5	≤4	≤3	≤2	1

7.2.3 施工现场移桩应符合下列规定：

- a) 空心方桩叠层堆放时,应采用吊机取桩,不应拖拉移桩;
- b) 三点支撑履带自行式打桩机不应拖拉取桩;
- c) 吊机取桩时,应保持打桩机的稳定和桩的完整;
- d) 单层摆放的空心方桩在移桩时应防止碰撞,采用平板车移送桩。

7.3 接桩与截桩

7.3.1 当空心方桩需接桩时,宜避免桩端落在厚黏性土层以及厚而密实的粉砂层中接桩。

7.3.2 接桩时,其入土部分桩段的桩顶宜高出地面 0.5 m~1.0 m。对接前,应注意上下两节桩的圆(直)角对正,同时上下端板表面应用钢丝刷清理干净,并保持干燥,坡口处应刷至露出金属光泽。桩头处宜设定位板或其他导向措施,上下桩段应保持顺直,错位偏差宜不大于 1mm。上下节桩两端面应紧密贴合,接头处如出现空隙,应采用楔形铁片全部焊牢。接桩就位纠偏时,不应采用大锤横向敲打;机械方式接桩时,应确保沉桩时的垂直度,接桩时不宜大幅度纠偏。

7.3.3 焊接接桩应符合下列规定。

- a) 宜先在坡口周围对称点焊 4~8 个点,待上下节桩固定后拆除定位板,再分层对称施焊。
- b) 焊接可采用手工电弧焊或二氧化碳气体保护焊。焊接层数不应少于三层,且逐层进行。内层焊渣不应清理干净后方能施焊外一层,焊缝应饱满连续。当采用手工电弧焊时,焊条质量应满足 GB/T 5117 的规定。焊接应由两个焊工同时进行。当采用二氧化碳气体保护焊时,施焊宜用两台焊机对焊,焊丝质量应符合 GB/T 8110 的规定。
- c) 焊好的桩接头应自然冷却后方可继续沉桩。手工电弧焊的自然冷却时间不应少于 10 min,二氧化碳气体保护焊的自然冷却时间不应少于 5 min。锤击法施工时,自然冷却时间宜适当延长。严禁用水冷却或焊完不冷却即沉桩施工。

7.3.4 钢桩尖宜在工厂内焊接;当在工地焊接时,宜先焊好桩尖的上半部,再翻转 180°。后施焊桩尖剩下的下半部,桩尖与桩端板面的错位不应大于 2 mm。不应在方桩悬吊就位时于桩底端进行施焊。

7.3.5 接桩、桩尖焊接应分别符合 GB 50205 二级焊缝、三级焊缝的要求;雨天焊接时,应采取可靠的防

雨措施。二氧化碳气体保护焊尚应采取防风措施。

7.3.6 空心方桩采用机械连接方式接桩时,应按不同机械连接产品使用说明及相关标准提供的操作流程和工艺要求,或在专业厂家指导下进行正确接桩,并固定牢固。

7.3.7 空心方桩一般不宜截桩,遇特殊情况需截桩时,可采用机械法将不需要截除的桩身端部用钢抱箍抱紧,然后沿钢箍上边缘用切割机械截去,钢筋可用气割法切割。不应采用大锤横向敲击截桩或强行扳拉截桩。截桩后出现轻微裂纹处应采取补强措施。

7.4 锤击法沉桩施工

7.4.1 对采用锤击法施工的空心方桩,锤击桩机的选用应符合以下要求。

- a) 施打空心方桩不宜采用自由落锤打桩机。锤击桩机的桩架应具有足够的强度、刚度和稳定性,并应与桩锤相匹配。
- b) 打桩锤常用筒式柴油锤,其型号可根据岩土工程条件、单桩竖向承载力、桩的规格、入土深度等因素,并结合高应变或静载试验的测试结果,遵循“重锤低击”的原则综合考虑后选用。柴油锤选择可参考附录D。

7.4.2 空心方桩锤击沉桩时应符合下列规定。

- a) 桩帽和送桩器与空心方桩周围的间隙应为5 mm~10 mm。
- b) 桩帽(或送桩器)与桩之间应加设弹性桩垫;厚度应均匀一致,且经锤击压实后的厚度不宜小于120 mm。桩帽的上部与桩锤之间应设置由盘绕叠层的钢丝绳或竖纹硬木制成的弹性锤垫,均匀平整,厚度应为150 mm~200 mm。桩垫和锤垫应随时检查、校正或更换。
- c) 沉桩时桩身应垂直,垂直度偏差不应大于0.25%,且最大值不应大于50 mm,否则应拔起空心方桩并在孔洞内填砂后重插。
- d) 第一节空心方桩遇上表层厚度较大的淤泥质土或松软的回填时,应利用锤自重将空心方桩压入,并控制空心方桩入土速度,以防桩身倾斜;
- e) 空心方桩施打过程中,宜重锤低击,适当控制锤击数,以防桩身疲劳破坏。当桩尖进入硬土层后,不应用移动桩架等强行回扳的方法纠偏。
- f) 每根桩宜一次性连续施打到位,并避免桩端在硬土层、密实砂层以及接近设计持力层时接桩;当桩顶标高低于自然地面时,施工至最后一根桩露出自然地面约1 m时应复核桩顶位偏差并记录。
- g) 送桩和复打时,应检查管腔内的水位;若水位较高,应抽去部分水后方可施打。
- h) 遇到贯入度突变、桩头桩身混凝土破碎、桩身倾斜、移位、锤击数过多、场地地面隆起、邻桩上浮等异常情况时,应停锤检查,查明原因,研究处理方案。
- i) 沉桩过程中应按附录F的要求填写沉桩记录。

7.4.3 每根桩总锤击数及最后1 m桩锤击数应符合下列规定:

- a) C60空心方桩总锤击数不宜超过1 500锤,最后1 m锤击数不宜超过100锤;
- b) C80空心方桩总锤击数不宜超过2 000锤,最后1 m锤击数不宜超过200锤。

7.4.4 锤击沉桩终锤标准符合下列规定。

- a) 终锤标准原则上应结合工程地质情况、单桩竖向承载力、空心方桩规格和入土深度、桩锤性能规格及冲击能量、桩端持力层性状及桩端进入持力层深度等因素综合考虑确定。收锤标准应定性分析达到的桩端持力层和最后贯入度,并定量分析最后1 m~3 m的每米沉桩锤击数作为收锤的主要控制目标。终锤标准应通过静载试验或试打桩确定。最后贯入度控制值可参考附录D,并结合邻近工程或相近场地的沉桩经验,经试打桩验证后确定。
- b) 桩端位于一般土层的摩擦型桩,应保证设计桩长和桩端标高,贯入度作为参考。其他凡指定桩

端持力层的基桩应按设计、监理、施工单位共同确认的终锤标准收锤；

- c) 桩端达到坚硬、硬塑的黏性土、中密以上粉土、砂土，极软岩-软岩时以贯入度为主，控制桩长和标高为辅。最后贯入度应连续测量三次，当每一阵贯入度逐次递减达到收锤标准时即可终锤。
- d) 若贯入度达到要求而设计标高未达到，应与勘察、设计、监理、施工等单位商定，一般应继续锤击3阵，按每阵10击的贯入度小于设计规定的数值加以确定，必要时通过静载试验确定。
- e) 最后10击贯入度不宜小于20 mm，且宜连续测量三次，当每一阵贯入度逐次递减并达到终锤标准时即可终锤。当持力层为较薄的强风化岩层且下卧层为中、微化岩层时，最后10击贯入度不宜小于15 mm，此时宜量测一阵锤击的贯入度，若达到终锤标准即可终锤。
- f) 锤击桩施工时的最大锤击力不应大于桩身竖向极限承载力，并应符合式(24)的规定：

$$p_{\max} \leqslant 0.65A f_{\text{ck}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

p_{\max} ——锤击施工时的最大锤击力；

A ——空心方桩横截面面积；

f_{ck} ——桩身混凝土轴心抗压强度标准值。

7.5 静压法沉桩施工

7.5.1 对采用静压法施工的空心方桩，静压桩机宜选用液压式桩机，可选用顶压式或抱压式，桩机的型号、最大压桩力应满足桩身力学参数和设计要求，桩机总重不小于最大压桩力的1.2倍。在没有规定和没有资料的情况下，静压桩机选择可参考附录E。

7.5.2 压桩过程应符合下列规定。

- a) 首节桩下插时垂直度偏差不应大于0.25%，且最大值不应大于50 mm。
- b) 采用顶压式桩机时，桩帽或送桩器与桩之间应加设弹性衬垫。
- c) 应在桩身标记以米数为单位的标高标记或采用压桩自动记录仪及时记录桩身入土深度和该深度时的压力值。
- d) 每根桩宜一次连续压到位。接桩、送桩期间不宜停歇，并避免桩端在接近设计持力层时接桩。当桩顶标高低于自然地面时，施工至最后一根桩露出自然地面约1 m时应复核桩顶位偏差并记录。

7.5.3 静压施工终压标准如下。

- a) 一般情况以设计桩长和标高为准，最终压桩力作为参考。在试压前可先施工2根~3根桩，待24 h后采用与桩的极限承载力相等的压桩力进行复压，如果桩身不下沉，即可按设计桩长和标高进行全面施工，否则应进行调整。
- b) 桩端达到坚硬的硬塑黏土、中密以上粉土、砂土、极软岩、软岩时，以最终压桩力为准，设计桩长和桩顶标高作为参考。
- c) 根据现场试压桩的试验结果确定终压标准。

7.5.4 空心方桩桩身允许抱压压桩力应满足式(25)或式(26)的要求。

- a) 预应力混凝土空心方桩：

$$p_{\max} \leqslant 0.5(f_{\text{cu},k} - \sigma_{\text{pc}})A \quad \dots\dots\dots (25)$$

- b) 预应力高强混凝土空心方桩：

$$p_{\max} \leqslant 0.45(f_{\text{cu},k} - \sigma_{\text{pc}})A \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中：

p_{\max} ——桩身允许抱压压桩力；

$f_{\text{cu},k}$ ——空心方桩混凝土立方体抗压强度；

σ_{pc} ——空心方桩混凝土有效预压应力；

A ——空心方桩横截面积。

7.5.5 顶压式桩机的最大施压压力或抱压式桩机送桩时施压力可比桩身允许抱压力大 10%。

7.5.6 沉桩过程中应按附录 G 的要求填写沉桩记录。

7.5.7 引孔沉桩应符合下列规定：

- 密集布桩的群桩基础,在沉桩过程中遇坚硬土层、密实砂层,正常施工难以穿过时,可采用引孔沉桩工艺；
- 地下水位以下引孔应采用泥浆护壁回转钻进工艺,地下水位以上引孔可采用长螺旋钻机干作业钻进工艺,引孔的垂直度偏差不应大于 0.25%；
- 引孔直径、孔深和数量应由设计、监理、施工等单位共同商议确定；
- 引孔作业和沉桩施工应密切配合、连续作业,做到随引孔随沉桩,引孔和沉桩应在同一个工作台面中完成；
- 引孔后,应严格控制锤击沉桩终止贯入度或静力压桩的压力指标,并对引孔后的单桩承载力进行检验。

7.5.8 桩数多于 30 根的群桩及群桩基础四周的基桩,沉桩时应按总桩数 10% 的数量设置观测点,定时检测桩的上浮量和桩顶偏位值。基坑内的工程桩、淤泥质软土层较厚及桩端持力层遇水易软化区内的群桩也应设置观测点。

7.5.9 在沉桩工程中应保持桩锤、桩帽、桩身的中心线在同一垂直线上,并随时检查桩身的垂直度。在桩身垂直度起偏时,应及时查找原因并纠正。

7.5.10 严禁沉桩设备碰撞高出地面的桩头部分或将桩头用作拉锚点,妨碍沉桩设备行走的高出地面的桩头部分应进行截桩。

7.5.11 应对空心方桩的沉桩过程进行旁站监理,并做好记录。

7.6 送桩

7.6.1 送桩时,送桩器应满足下列要求。

- 送桩器应有足够的强度、刚度和耐打性,器身弯曲度不应大于 1/1 000。宜采用优质厚壁钢管制成,上下两端面应平整,且与送桩器中心轴线相垂直。不应使用不合格的送桩器施工。
- 送桩器长度应满足送桩深度的要求,宜做成送桩深度的 1.2 倍,弯曲度不应大于 1/1 000,锤击桩送桩深度不宜大于 2m,静压桩送桩深度不宜超过 6m,当施工采取可靠措施时,可适当加送桩器长度。
- 送桩器应与空心方桩匹配。套筒式送桩器下端套筒长度应为 300 mm~350 mm,边长应比空心方桩边长大 20 mm~30 mm。插销式送桩器下端插销长度宜取 200 mm~300 mm,杆销边长应比空心方桩边长小 20 mm~30 mm,对于腔内有余浆的空心方桩,不宜采用插销式送桩器。
- 送桩作业时,送桩器与桩头之间应设置 1 层~2 层麻袋或硬纸板等衬垫。内填弹性衬垫压实后的厚度不宜小于 60 mm。
- 送桩器下端应设置排气孔,使桩内腔与外界相通,以防止出现气锤和水锤现象而损坏桩头。
- 不应将工程用空心方桩作为送桩器使用。

7.6.2 接桩完成并正常施打(或施压)后,应根据设计文件要求以及试打时确定的控制参数来决定是否采取送桩。

7.6.3 送桩前,空心方桩露出地面高度宜控制在 0.3 m~0.5 m。

7.6.4 当桩顶接近地面需要送桩时,应检测桩的垂直度并检查桩头质量,符合要求后应立即送桩。

7.6.5 送桩完成或收锤后的空心方桩,应及时将送桩遗留的孔洞或管口回填密实或覆盖。

- 7.6.6 采用送桩时测试的贯入度,应参考同一条件下空心方桩不送桩时的最后贯入度,并予以修正。
- 7.6.7 当场地上部有较厚的淤泥土层时,送桩深度不宜大于 2.0 m。当场地上无淤泥土层或确有沉桩经验,且采取相应的措施确保桩身的垂直度满足要求时,可适当加大送桩深度。

7.7 基坑开挖与回填

- 7.7.1 开挖前应编制专项施工方案并经审核批准后方可施工,严禁边打桩边开挖基坑。
- 7.7.2 饱和黏性土、粉土地区的基坑开挖宜在打桩全部完成 15 d 后进行。
- 7.7.3 挖土应分层、分段均匀进行,且桩周土体高差不宜大于 1 m,开挖的土方不应堆积在基础周围,应及时外运。
- 7.7.4 机械开挖时,应小心操作,不应碰及桩身,挖到离桩顶标高 0.5 m 以上,宜改用人工挖除桩顶余土,以保证空心方桩的质量。
- 7.7.5 基坑回填土应分层夯实,分层厚度应视填土性质及所用机具而定,一般不超过 300 mm,并应对称同步进行,以免导致后期发生不均匀地基沉降。
- 7.7.6 施工完毕,坡顶应采取有效防水措施,以免破坏土体承载力。

8 检验和验收

8.1 一般规定

- 8.1.1 预应力空心方桩为桩基子分部中一个分项工程,原则上按每台班、每桩机、同规格划分检验批,检验批施工质量按主控项目和一般项目验收。
- 8.1.2 空心方桩质量检验标准、桩位的允许偏差、电焊接桩焊缝检验标准应分别符合表 14~表 16 的要求。

表 14 空心方桩质量检验标准

项目	序号	检查项目		允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	1	桩体质量检验		JGJ 106	JGJ 106
	2	承载力		不小于设计值	JGJ 106
	3	抗弯性能		附录 A	JC/T 2029
一般项目	1	成品桩	类型、型号 (A、AB、B 型)	设计要求	出厂合格证
			外观	表 11	直观
			裂缝(收缩裂缝 或起吊、装运、 堆放引起的裂缝)	深度<20 mm,宽度<0.25 mm, 横向裂缝不超过边长的一半	裂缝测定仪,该项在地下水有侵蚀地区及锤击数超过 500 击的长桩不适用
			尺寸	表 12	用钢尺量
			最小壁厚处/mm	+10,0	用钢尺量
			垂直度	≤0.25% 且 ≤50mm	两个垂直方向经纬仪测量
			桩尖中心线	<2	用钢尺量

表 14 空心方桩质量检验标准（续）

项目	序号	检查项目		允许偏差或允许值	检查方法
一般项目	2	接桩	电焊结束后 停歇时间	$\geq 10.0\text{ min}$ (手工电弧焊), $\geq 5.0\text{ min}$ (二氧化碳该气体保护焊), 且冷却至环境温度	秒表测定
			焊缝质量	表 16	表 16
			上下节平面偏差	$< 10\text{ mm}$	用钢尺量
			节点弯曲矢高	$< l/1\ 000$	用钢尺量, l 为两节桩长
	3	停锤标准或油压值		设计要求	现场实测或查沉桩记录
	4	桩顶标高/mm		± 50	用水准仪测量
	5	桩位偏差		表 15	用钢尺量

表 15 桩位的允许偏差

项目		允许偏差(mm)
带有基础梁 的桩	垂直基础梁的中心线	100
	沿基础梁的中心线	150
承台桩	桩数为 1 根~3 根桩基中的桩	100
	桩数大于或等于 4 根桩基中的桩	1/2 边长

表 16 电焊接桩焊缝检验标准

检查项目		允许偏差或允许值	检查方法
上下节端部 错口/mm	边长 ≥ 600	≤ 2	用钢尺量
	边长 < 600	≤ 1	
焊缝咬边深度/mm		≤ 0.5	焊缝检查仪
焊缝加强层高度/mm		2	焊缝检查仪
焊缝加强层宽度/mm		2	焊缝检查仪
焊接电焊质量外观		无气孔, 无焊瘤, 无裂缝	直观
焊缝探伤检验		二级焊	GB 50205

8.1.3 检验批的合格判定应符合下列要求：

- a) 主控项目应全部合格；
- b) 一般项目应合格；当采用计数检验时，至少应有 80% 的检查点合格，且其余检查点不应有严重缺陷，经修复后不影响正常使用；
- c) 应有完整的施工、验收记录。

8.1.4 检验包括施工前检验、施工过程检验和施工后检验。上道工序验收合格后方可进行下道工序检验。

8.1.5 空心方桩的试验方法和检验规则除应符合本文件的规定外,尚应优先采用同材料、同工艺、同养护条件的试块检测。应符合 JG/T 197 和 GB/T 13476 的规定,同时应符合附录 I、附录 J 和附录 K 的规定。

8.1.6 空心方桩防腐及耐久性检验应满足 GB/T 50046 及 GB/T 50476 等规范的相关要求。

8.1.7 采用机械连接及桩顶采用张拉套筒与承台锚固筋连接的空心方桩,机械连接件及张拉套筒的检验与验收除了应满足本规程要求外,还应符合 JGJ 107 的相关要求。

8.1.8 采用机械连接接头时,应对接头技术提供单位提交的接头相关技术资料进行审查与验收,并应包括下列内容:

- a) 工程所用接头的有效型式检验报告。
- b) 连接件产品设计、接头加工安装要求的相关技术文件。
- c) 连接件产品合格证和连接件原材料质量证明书。

8.1.9 采用机械连接接头工艺检验应符合下列规定:

- a) 各种类型和型式接头都应进行工艺检验,检验项目包括单向拉伸极限抗拉强度。
- b) 每种规格预应力钢筋接头试件不应少于 3 根,每根试件极限抗拉强度应符合 JGJ 107 中的Ⅱ级接头强度要求。
- c) 工艺检验不合格时,应进行工艺参数调整,合格后方可按最终确认的工艺参数进行接头批量加工。

8.1.10 采用机械连接件现场抽检项目应包括极限抗拉强度试验、加工和安装质量检验。抽检应按验收批进行,同钢筋生产厂、同强度等级、同规格、同类型和同型式接头应以 1 000 个为一个验收批进行检验与验收,不足 1 000 个也应作为一个验收批。对有效认证的接头产品验收批数量可扩大至 1 000 个;当现场抽检连续 10 个验收批抽样试件极限抗拉强度检验一次合格率为 100% 时,验收批接头数量可扩大一倍。当扩大后的各验收批中出现抽样试件极限抗拉强度检验不合格的评定结果时,应将随后的各验收批数量恢复为 1 000 个,且不应再次扩大验收批数量。

8.2 施工前检验

8.2.1 监理单位、建设单位、施工单位应按设计文件及本文件有关规定检查空心方桩产品合格证、混凝土强度、抗弯性能检测报告、桩身标记及端板、套箍材料检测报告、机械连接部件检测报告等,形成空心方桩进场验收记录。与设计文件要求不相符的空心方桩不应进场。

8.2.2 进入施工现场的空心方桩应按表 11、表 12 的要求抽查验收。对同一项目、同期施工的同一生产厂家、同一规格的产品,抽取数量不宜少于总节数的 0.1% 且不应少于 2 节,先做空心方桩抗弯检测,再做空心方桩预应力钢筋(或普通钢筋)的数量和直径,螺旋箍筋的直径、间距和加密区长度,钢筋保护层等进行破损检验。

8.2.3 空心方桩采用焊接连接时,应按第 6 章的要求及有关标准进行检查,重点检查桩端板和电焊坡口尺寸。电焊坡口尺寸应逐节进行检查。端板厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩严禁使用。当空心方桩采用机械方式接头时,应对不同机械连接形式进行验收。若发现连接部件的材质、部件数量及尺寸有不符合要求者,该批桩不应使用。

8.2.4 空心方桩的起吊应进行旁站监理,在空心方桩起吊就位前,应目测检查空心方桩在运输、装卸中与否产生裂缝,严禁使用有裂缝的空心方桩,每根桩施工前应目测检查裂缝。

8.2.5 常用桩尖和特殊桩尖的材质、各部分尺寸及焊接质量,应符合国家有关标准的规定,且应满足设计要求。随机抽取 5% 的桩尖进行质量检查,若单个桩尖质量达不到理论重量的 95%,判为不合格。若对该批桩尖有怀疑,应逐个检查,不合格者不应使用。

8.2.6 空心方桩钢筋机械连接用套筒型式检验方法参照 JG/T 163 的相关规定执行。

8.3 施工过程检验

8.3.1 焊接接桩应检查电焊条产品质量和直径、电焊坡口的尺寸、焊缝质量,记录并监控焊接所用的时间及焊完后的停歇时间。焊条型号、性能应符合设计文件要求和有关标准的规定。桩的机械连接应对其接头零部件的规格、数量、质量进行检查,并做好记录。

8.3.2 桩位放样复检允许偏差为:群桩 ± 20 mm,单排桩 ± 10 mm。桩位经施工单位放线定位后,监理人员应对桩位进行复核。在沉桩过程中,应做好桩位标记的保护,防止桩位标记发生错乱和移位。对于大承台群桩基础四周边缘的基桩,宜待承台内其他桩全部打完后重新定位,再沉桩。

8.3.3 以桩端标高控制的摩擦型桩,应按设计规定保证设计桩长;其他空心方桩应按设计、勘察、监理、施工等单位共同确认的停锤标准收锤或最终压力值停止压桩。

8.3.4 施工过程中应检查桩的贯入情况、桩顶完整状况,并应在送桩前逐根检查桩身的垂直度。

8.3.5 工程地质条件较差且同时单根桩节数不少于3节时,按空心方桩基础设计等级分别取甲级20%、乙级10%、丙级5%的焊接接头进行焊缝探伤检查。焊接加机械连接接头或焊接接头、机械连接接头和其他形式的连接接头,其检查数量和方法可参考上述规定,检查方法除应符合本文件的规定外,尚应符合其他相关标准的规定。

8.3.6 配置封口型桩尖(十字形或圆锥形)的工程桩桩身质量可采用直观法检查。经监理等有关人员签字确认后,方可作为有效的施工记录。

8.3.7 沉桩对周围环境影响的监测应注意下列几点。

- a) 沉桩过程中,应根据7.1.2的规定和施工组织设计监控沉桩顺序。引孔法沉桩应按7.5.7的规定进行监测。
- b) 沉桩时由于振动和挤土,可能危及周边建(构)筑物、道路、市政设施等,除应按国家标准和本文件的有关规定采取相应的安全技术措施外,尚应及时检测其变形、裂缝、容许振动等情况。

8.3.8 当沉桩施工中桩的破损率超过3%时,可采用钻芯法检测。钻芯不应在施打过的空心方桩上钻取,钻芯检测应符合GB/T 19496的有关规定。

8.3.9 沉桩完毕,应按本文件的有关规定及时检查桩孔和送桩遗留孔洞的封盖情况。

8.3.10 将填芯混凝土深度内腔内壁浮浆清理干净并逐根进行验收,确保填芯混凝土与桩身的可靠连接。

8.4 施工后检验

8.4.1 桩位验收应按下列要求进行。

- a) 当桩顶设计标高与施工现场标高相同时,或桩基施工结束后有可能对桩位进行检查时,桩基工程的验收应在施工结束后进行。
- b) 当桩顶设计标高低于施工现场标高,送桩后无法对桩位进行检查时,对打入桩可在每根桩顶沉至场地标高时,进行中间验收,待全部桩施工结束,开挖到设计标高后,再做最终验收。

8.4.2 桩基验收条件应符合下列要求:

- a) 现场桩头清理到位,桩顶灌芯混凝土长度隐蔽验收已完成;
- b) 竣工图等质量控制资料已经监理审查并签署意见;
- c) 桩位偏差超标等质量问题已有设计书面处理意见;
- d) 检测报告(如桩的外观尺寸与质量、接桩焊缝探伤检测、小应变检测、承载力检测等)已出具;
- e) 桩基分部已经施工自检合格。

8.4.3 验收时,应对空心方桩沉桩平面位置、桩顶标高、填芯混凝土及桩身垂直度等内容逐根进行验收。

8.4.4 工程桩应进行承载力与桩身质量检验,并符合下列要求。

- a) 桩身质量检验。当采用低应变动测法时,对地基基础设计等级为甲级的检测数量为总桩数的

100%；乙级为总桩数的30%，且不应少于30根；丙级为总桩数的20%，且不应少于10根。每个独立承台下不应少于1根。对于倾斜度大于0.5%的承压桩、抗拔桩、Ⅲ类及以上的桩占检测总数量的30%。锤击法施工的空心方桩且总锤击数超过1800击的基桩，应逐根检测。对采用低应变法检测的桩身完整性存在疑问时，应采用孔内摄像法检测桩身完整性，可按照CECS 253的规定执行。

- b) 桩基设计等级为甲、乙级的空心方桩基础，当采用静载试验法确定基桩承载力，试验数量为总桩数的1%，并不应少于3根；总桩数小于50根时，不应少于2根。对于设计等级为丙级的空心方桩基础，宜参考本条执行。工程桩不应用做静载试验时的锚拉桩。
- c) 桩基设计等级为甲级、乙级的空心方桩基础，可采用高应变动测法确定基桩承载力，但应有邻近相同条件且可靠的动静载试验的对比资料，检测数量不应少于总桩数的2%，且不应少于10根。桩基设计等级为丙级的空心方桩基础，检测数量不应少于总桩数的1%，不应少于5根。总桩数少于50根时，不应少于3根。

8.4.5 竣工验收时应提交以下资料：

- a) 空心方桩基础设计文件、施工图以及设计变更通知书；
- b) 工程地质和水文地质勘察报告；
- c) 工程桩测量、定位放线图，包括工程基线复核签证单；
- d) 开、竣工报告；
- e) 经批准的施工组织设计或施工方案，包括实施中的变更资料；
- f) 图纸会审记录；
- g) 空心方桩出厂合格证、产品说明书和型式检验报告；
- h) 空心方桩进场验收记录，包括桩端板和桩尖的外形尺寸和材质抽检、预应力钢筋和螺旋箍筋抽检、接头焊缝验收记录等汇总资料；
- i) 空心方桩焊接材料和机械连接部件合格证及检验报告；
- j) 空心方桩接桩隐蔽验收（抗拔桩机械连接接头影像资料）记录，包括桩位编号；
- k) 空心方桩与承台连接混凝土灌芯长度隐蔽验收记录；
- l) 空心方桩的沉桩施工记录，包括桩位编号图；
- m) 桩基工程竣工图，桩位偏位实测情况，补桩、试桩记录等；
- n) 质量问题处理记录；
- o) 桩基载荷试验报告和桩身质量检测报告（包括桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果、桩身完整性检测报告等）；
- p) 桩基工程质量控制资料核查记录；
- q) 沉桩分项工程质量验收记录、检验批质量验收记录；
- r) 桩基工程质量验收报告。

附 录 A

(规范性)

预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表

预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表见表 A.1、表 A.2。

表 A.1 C80 预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表

边长 mm	内径 mm	单节 长度 m	型号	预应力钢筋数量 及直径	螺旋 钢筋规 格	配筋 率 %	混凝土 有效预 压应力 N/mm ²	开裂弯 矩检 验值 kN•m	受弯承 载力检 验值 kN•m	受压承 载力设 计值 kN	受拉承 载力检 验值 kN	受剪 承载 力检 验值 kN
300	140	5~12	A	12Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.65	5.26	43	69	1 741	—	157
			AB	12Φ ^D 9.0		1.03	8.07	56	110		871	172
350	190	5~14	A	12Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.51	4.23	58	85	2 197	—	186
			AB	12Φ ^D 9.0		0.82	6.54	76	136		940	202
			B	12Φ ^D 10.7		1.15	8.88	93	191		1 184	217
350	170	5~14	A	4Φ ^D 9.0+8Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.58	4.00	58	85	2 329	—	199
			AB	12Φ ^D 9.0		0.77	6.20	75	136		947	214
			B	12Φ ^D 10.7		1.09	8.43	92	191		1 205	230
400	240	5~15	A	4Φ ^D 9.0+8Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.50	3.50	77	101	2 678	—	216
			AB	12Φ ^D 9.0		0.67	5.45	98	162		953	232
			B	12Φ ^D 10.7		0.94	7.44	120	228		1 260	248
400	220	5~15	A	4Φ ^D 7.1+8Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.55	3.31	77	101	2 847	—	230
			AB	12Φ ^D 9.0		0.63	5.15	97	162		956	246
			B	12Φ ^D 10.7		0.89	7.05	119	228		1 286	262
400	200	5~14	A	4Φ ^D 7.1+8Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.52	3.14	77	101	3 001	—	244
			AB	12Φ ^D 9.0		0.60	4.90	96	162		958	260
			B	12Φ ^D 10.7		0.84	6.72	117	228		1 287	277
450	250	5~16	A	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	4.16	123	186	3 580	—	324
			AB	12Φ ^D 10.7		0.71	5.71	147	262		1 287	341
			B	12Φ ^D 12.6		0.98	7.70	179	363		1 728	362
500	310	5~16	A	4Φ ^D 10.7+8Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	3.68	153	212	4 072	—	355
			AB	12Φ ^D 10.7		0.62	5.07	182	298		1 287	372
			B	12Φ ^D 12.6		0.86	6.86	220	414		1 749	394
500	300	5~16	A	4Φ ^D 9.0+8Φ ^D 10.7	Φ ^b 5	0.55	3.58	153	212	4 184	—	364

表 A.1 C80 预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表（续）

边长 mm	内径 mm	单节 长度 m	型号	预应力钢筋数量 及直径	螺旋 钢筋规 格	配筋 率 %	混凝土 有效预 压应力 N/mm ²	开裂弯 矩检 验值 kN·m	受弯承 载力检 验值 kN·m	受压承 载力设 计值 kN	受拉承 载力检 验值 kN	受剪 承载 力检 验值 kN
500	300	5~16	AB	12Φ ^D 10.7	Φ ^b 5	0.60	4.94	182	298	4 184	1 287	381
			B	12Φ ^D 12.6		0.84	6.69	219	414		1 749	403
500	280	5~16	A	4Φ ^D 9.0+8Φ ^D 10.7	Φ ^b 5	0.52	3.42	153	212	4 397	—	382
			AB	12Φ ^D 10.7		0.57	4.72	181	298		1 287	399
			B	12Φ ^D 12.6		0.80	6.40	217	414		1 749	421
550	350	5~18	A	16Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	4.12	213	317	4 814	—	419
			AB	16Φ ^D 10.7		0.70	5.67	255	446		1 716	441
			B	16Φ ^D 12.6		0.97	7.65	310	620		2 311	469
550	310	5~17	A	4Φ ^D 10.7+12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	3.76	212	317	5 298	—	459
			AB	16Φ ^D 10.7		0.64	5.19	252	446		1 716	481
			B	16Φ ^D 12.6		0.88	7.01	305	620		2 332	510
600	400	5~20	A	20Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	0.55	4.51	284	440	5 468	—	525
			AB	20Φ ^D 10.7		0.77	6.19	342	619		2 145	552
			B	20Φ ^D 12.6		1.07	8.33	418	842		2 802	587
600	360	5~18	A	20Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	0.50	4.12	283	440	6 025	—	569
			AB	20Φ ^D 10.7		0.70	5.66	339	619		2 145	597
			B	20Φ ^D 12.6		0.97	7.64	412	842		2 890	632
650	420	5~20	A	24Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	0.54	4.47	365	580	6 626	—	444
			AB	24Φ ^D 10.7		0.76	6.14	439	816		2 574	468
			B	24Φ ^D 12.6		1.06	8.26	536	1103		3 373	498
700	440	5~21	A	28Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	0.53	4.39	457	738	7 886	—	519
			AB	28Φ ^D 10.7		0.75	6.02	549	1038		3 003	547
			B	28Φ ^D 12.6		1.04	8.11	669	1386		3 960	582
800	560	5~22	A	32Φ ^D 9.0	Φ ^b 7	0.52	4.31	631	982	9 187	—	587
			AB	32Φ ^D 10.7		0.73	5.92	760	1381		3 431	619
			B	32Φ ^D 12.6		1.02	7.97	928	1839		4 553	659
1000	760	5~25	A	44Φ ^D 9.0	Φ ^b 8	0.52	4.27	1128	1733	12 749	—	780
			AB	44Φ ^D 10.7		0.73	5.87	1361	2418		4 718	824
			B	44Φ ^D 12.6		1.01	7.91	1665	3237		6 278	879

- 说明：
1. 开裂弯矩检验值、受弯承载力检验值是按一般梁式构件的受弯计算所得，主要用作实验室检测空心方桩质量的检测依据。用于工程时，需结合工程地质情况、上部结构特点、受力状况等因素综合分析确定。
2. 本表供空心方桩生产、检测使用。

表 A.2 C60 预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表

边长 mm	内径 mm	单节 长度 m	型号	预应力钢筋数量及 直径	螺旋 筋规 格	配筋 率 %	混凝土 有效预 压应力 N/mm ²	开裂弯 矩检 验值 kN·m	受弯承 载力检 验值 kN·m	受压 承载力 设计值 kN	受拉 承载力 检验值 kN	受剪 承载力 检验值 kN
300	140	5~12	A	12Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.65	5.25	41	69	1 334	—	150
			AB	12Φ ^D 9.0		1.03	8.05	55	110		851	164
350	190	5~14	A	12Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.51	4.22	56	85	1 683	—	177
			AB	12Φ ^D 9.0		0.82	6.53	73	136		916	192
			B	12Φ ^D 10.7		1.15	8.85	91	191		1 160	203
400	240	5~15	A	4Φ ^D 9.0+8Φ ^D 7.1	Φ ^b 4	0.50	3.50	74	101	2 051	—	205
			AB	12Φ ^D 9.0		0.67	5.44	95	162		953	220
			B	12Φ ^D 10.7		0.94	7.43	117	228		1 230	236
400	200	5~14	A	4Φ ^D 7.1+8Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.52	3.14	73	101	2 298	—	231
			AB	12Φ ^D 9.0		0.60	4.90	93	162		958	247
			B	12Φ ^D 10.7		0.84	6.70	113	228		1 275	263
450	250	5~16	A	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	4.15	118	186	2 742	—	308
			AB	12Φ ^D 10.7		0.71	5.70	142	262		1 287	325
			B	12Φ ^D 12.6		0.98	7.69	174	363		1 688	346
500	310	5~16	A	4Φ ^D 10.7+8Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	3.67	147	212	3 120	—	337
			AB	12Φ ^D 10.7		0.62	5.06	175	298		1 287	354
			B	12Φ ^D 12.6		0.86	6.84	213	414		1 749	376
500	280	5~15	A	4Φ ^D 9.0+8Φ ^D 10.7	Φ ^b 5	0.52	3.41	146	212	3 368	—	362
			AB	12Φ ^D 10.7		0.57	4.71	174	298		1 287	379
			B	12Φ ^D 12.6		0.80	6.38	210	414		1 749	401
550	350	5~18	A	16Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	4.12	204	317	3 687	—	398
			AB	16Φ ^D 10.7		0.70	5.66	246	446		1 716	420
			B	16Φ ^D 12.6		0.97	7.63	301	620		2 257	448
550	310	5~17	A	4Φ ^D 10.7+12Φ ^D 9.0	Φ ^b 5	0.50	3.76	203	317	4 058	—	435
			AB	16Φ ^D 10.7		0.64	5.18	243	446		1 716	457
			B	16Φ ^D 12.6		0.88	7.00	296	620		2 325	486

表 A.2 C60 预应力混凝土空心方桩配筋及力学性能参考表（续）

边长 mm	内径 mm	单节 长度 m	型号	预应力钢筋数量及 直径	螺旋 筋规 格	配筋 率 %	混凝土 有效预 压应力 N/mm ²	开裂弯 矩检 验值 kN•m	受弯承 载力检 验值 kN•m	受压 承载 力设 计值 kN	受拉 承载 力检 验值 kN	受剪 承载 力检 验值 kN
600	400	5~19	A	20Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	0.55	4.50	273	440	4 189	—	501
			AB	20Φ ^D 10.7		0.77	6.18	331	619		2 145	529
			B	20Φ ^D 12.6		1.07	8.31	407	860		2 741	563
600	360	5~18	A	20Φ ^D 9.0	Φ ^b 6	0.50	4.11	271	440	4 616	—	542
			AB	20Φ ^D 10.7		0.70	5.65	327	619		2 145	570
			B	20Φ ^D 12.6		0.97	7.62	400	860		2 822	605

说明：

1. 开裂弯矩检验值、受弯承载力检验值是按一般梁式构件的受弯计算所得，主要用作实验室检测空心方桩质量的检测依据。用于工程时，应结合工程地质情况、上部结构特点、受力状况等因素综合分析确定。

2. 本表供空心方桩生产、检测使用。

附 录 B

(规范性)

C80 预应力混凝土抗拔空心方桩配筋及力学性能参考表

C80 预应力混凝土抗拔空心方桩配筋及力学性能参考表见表 B.1。

表 B.1 C80 预应力混凝土抗拔空心方桩配筋及力学性能参考表

边长 mm	内径 mm	单节 长度 m	型号	预应力钢 筋数量及 直径	螺旋 筋规格	配筋 率 %	端板 厚 mm	混凝土 有效预 压应力 N/mm ²	开裂 弯矩 检验 值 kN·m	受弯 承载力 设计值 kN·m	受弯 承载力 检验值 kN·m	受压 承载力 设计值 kN	受拉 承载力 设计值 kN	受剪 承载力 设计值 kN
350	190	5~13	AB	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.82	20	6.54	76	101	136	2197	635	144
			B	12Φ ^D 10.7		1.15	22	8.88	93	142	191		799	155
350	170	5~13	AB	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.77	20	6.20	75	101	136	2329	639	153
			B	12Φ ^D 10.7		1.09	22	8.43	92	142	191		814	164
400	240	5~15	AB	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.67	20	5.45	98	120	162	2678	644	166
			B	12Φ ^D 10.7		0.94	22	7.44	120	169	228		850	177
400	220	5~15	AB	12Φ ^D 9.0	Φ ^b 4	0.63	20	5.15	97	120	162	2847	645	176
			B	12Φ ^D 10.7		0.89	22	7.05	119	169	228		868	187
450	250	5~15	AB	12Φ ^D 10.7	Φ ^b 5	0.71	22	5.71	147	194	262	3580	869	243
			B	12Φ ^D 12.6		0.98	24	7.70	179	269	363		1167	259
500	300	5~15	AB	12Φ ^D 10.7	Φ ^b 5	0.60	22	4.94	182	221	298	4184	869	272
			B	12Φ ^D 12.6		0.84	24	6.69	219	307	414		1181	288

说明：

本表供抗拔空心方桩生产、检验时对受拉、受弯和受剪承载力检验，检验值要求如下，对采用空心方桩不同的尺寸、型号、配筋和端板厚度时设计人员应加以复核计算后采用。

- 1) 机械连接接头的受拉承载力检验值应不小于表中桩身受拉承载力设计值的1.25倍。
- 2) 机械连接接头的受弯承载力检验值应不小于表中桩身受弯承载力设计值的1.0倍。
- 3) 机械连接接头的受剪承载力检验值应不小于表中桩身受剪承载力设计值的1.1倍。

附录 C

(规范性)

预应力混凝土空心方桩的力学性能计算

C.1 预应力混凝土空心方桩的预应力损失及桩身混凝土有效预压应力值的计算方法,按照 GB 50010 的有关规定计算。根据空心方桩的生产工艺特点,预应力损失一般考虑空心方桩中预应力钢棒由于张拉端锚具变形和钢棒内缩引起的预应力损失值 σ_{l1} 、预应力钢棒的应力松弛引起的预应力损失 σ_{l4} 、混凝土收缩和徐变引起的预应力损失 σ_{l5} 。

a) 张拉端锚具变形和钢棒内缩引起的预应力损失值按式(C.1)计算:

$$\sigma_{l1} = \frac{\alpha}{l} E_s \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

α ——张拉端锚具变形和钢筋内缩值,单位为毫米(mm)取值 $\alpha=1\text{mm}$;;

l ——张拉端至锚固端之间的距离,单位为毫米(mm);

E_s ——预应力钢筋的弹性模量,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

b) 预应力钢筋(低松弛螺旋槽钢棒)的应力松弛引起的预应力损失值按式(C.2)计算:

$$\sigma_{l4} = 0.125 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

σ_{con} ——预应力钢筋张拉控制力,单位为牛每平方米(N/mm^2);

f_{ptk} ——预应力钢筋极限强度标准值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

c) 混凝土收缩、徐变引起的预应力损失值按式(C.3)计算:

$$\sigma_{l5} = \frac{60 + 340 \frac{\sigma_{\text{pc1}}}{f'_{\text{cu}}}}{1 + 15\rho} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

σ_{pc1} ——考虑混凝土预压前损失时的桩身混凝土有效预压应力,单位为牛每平方米(N/mm^2); $\sigma_{\text{pc1}} = (\sigma_{\text{con}} - \sigma_{l1} - \sigma_{l4}) A_p / A_0$, 其中 A_p 为预应力钢筋总截面面积(mm^2); A_0 为桩身换算横截面面积(mm^2);

f'_{cu} ——施加预应力时的混凝土立方体抗压强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

ρ ——空心方桩横截面面积配筋率, $\rho = A_p / A_0$, 其中 A_p 按预应力钢筋总截面面积的一半计算。

d) 总预应力损失值按式(C.4)计算:

$$\sigma_l = \sigma_{l1} + \sigma_{l4} + \sigma_{l5} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

当总预应力损失按以上公式计算值小于 $100 \text{ N}/\text{mm}^2$ 时,应取总预应力损失为 $100 \text{ N}/\text{mm}^2$ 。

e) 预应力钢筋的有效预拉应力值应按式(C.5)计算:

$$\sigma_{\text{pe}} = \sigma_{\text{con}} - \sigma_l \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

f) 混凝土的有效预压应力值应按式(C.6)计算:

$$\sigma_{\text{pc}} = \frac{\sigma_{\text{pe}} A_p}{A_0} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

C.2 桩身开裂弯按式(C.7)计算:

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + \gamma f_{tk}) W_0 \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

γ ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数;

f_{tk} ——空心方桩混凝土抗拉强度标准值,单位为牛每平方米(N/mm²);

W_0 ——预应力混凝土空心方桩受拉边缘弹性抵抗矩换算值,单位为立方毫米(mm³).

C.3 桩身正截面受弯承载力设计值按下列规定计算:空心方桩的正截面受弯承载力计算将内圆孔换算成等截面面积、等惯性矩的长方形孔后,整体按对应的工字形截面计算。

a) 混凝土受压区高度符合下列条件时:

$$x \leq \xi_b h_0 \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

$$x \geq 2a' \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

1) 当满足下列条件时:

$$\sum \sigma_{pi} A_{pi} \leq \alpha_1 f_c B h_f' \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

受弯承载力设计值按式(C.11)计算:

$$M = \left[\sum \sigma_{pi} A_{pi} \left(h_i - \frac{x}{2} \right) \right] / 10^6 \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

混凝土受压区高度按公式(C.12)确定:

$$\alpha_1 f_c B x = \sum \sigma_{pi} A_{pi} \quad \dots\dots\dots (C.12)$$

2) 当满足下列条件时:

$$\sum \sigma_{pi} A_{pi} > \alpha_1 f_c B h_f' \quad \dots\dots\dots (C.13)$$

受弯承载力设计值按式(C.14)、式(C.15)计算:

$$M = \left[\sum \sigma_{pi} A_{pi} (h_i - x_t) \right] / 10^6 \quad \dots\dots\dots (C.14)$$

$$x_t = \frac{\frac{1}{2} (B - b) h_f'^2 + \frac{1}{2} b x^2}{(B - b) h_f' + b x} \quad \dots\dots\dots (C.15)$$

混凝土受压区高度按式(C.16)确定:

$$\alpha_1 f_c [b x + (B - b) h_f'] = \sum \sigma_{pi} A_{pi} \quad \dots\dots\dots (C.16)$$

b) 当 $x < 2a'$ 时,受弯承载力设计值按式(C.17)计算:

$$M = \left[f_{py} \sum A_{pi} (h_i - a') \right] / 10^6 \quad \dots\dots\dots (C.17)$$

式中:

M ——桩的正截面受弯承载力设计值,单位为千牛米(kN·m);

α_1 ——系数,按GB 50010—2010中6.2.6的规定计算,C80取0.94,C60取0.98;

f_{py} ——预应力钢筋的抗拉强度设计值,单位为兆帕(MPa),取1005 MPa;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,单位为兆帕(MPa);

σ_{pi} ——第*i*排预应力钢筋的计算应力值,单位为兆帕(MPa);

A_{pi} ——第*i*排预应力钢筋的截面积,单位为平方毫米(mm²);

h_0 ——截面有效高度,受拉区各层钢筋合力点至截面受压边缘的距离,单位为毫米(mm);

h_i ——第*i*排预应力钢筋距离混凝土受压区外边缘的距离,单位为毫米(mm);

x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度,单位为毫米(mm);

x_t ——混凝土受压区高度超过翼缘高度后,形成的T形受压区面积形心距离混凝土受压区外边缘

的距离,单位为毫米(mm);

ξ_b ——相对界限受压区高度;

a' ——受压区纵向钢筋合力点至截面受压边缘的距离,单位为毫米(mm);

B ——空心方桩的外边长,单位为毫米(mm);

b ——工型截面的腹板宽度,单位为毫米(mm);

h_f' ——工型截面受压区的翼缘高度,单位为毫米(mm)。

C.4 桩身正截面受弯承载力检验值按式(C.18)计算:

$$M_u = [\gamma_u] M \quad \dots\dots\dots (C.18)$$

式中:

$[\gamma_u]$ ——空心方桩受弯承载力检验系数。取 $[\gamma_u]=1.35$ 。

C.5 桩身正截面受剪承载力设计值按式(C.19)计算:

$$V_0 = 0.7f_t b h_0 + 1.0f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \sin \theta + 0.05\sigma_{pc} A_0 \quad \dots\dots\dots (C.19)$$

式中:

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);

b ——空心方桩截面换算成等面积、等惯性矩的工型截面的腹板宽度,单位为毫米(mm);

h_0 ——截面有效高度,单位为毫米(mm);

f_{yv} ——箍筋强度设计值,单位为兆帕(MPa);

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积,单位为平方毫米(mm²);

s ——沿空心方桩长度方向的箍筋间距,单位为毫米(mm);

θ ——箍筋与纵向轴线的夹角,单位为度(°)。

C.6 桩身正截面受剪承载力检验值按式(C.20)计算:

$$V_u = [\gamma_u] V_0 \quad \dots\dots\dots (C.20)$$

式中:

$[\gamma_u]$ ——空心方桩受剪承载力检验系数。取 $[\gamma_u]=1.40$ 。

附 录 D

(资料性)

锤击沉桩选择参考表

锤击沉桩选择参考表见表 D.1。

表 D.1 锤击沉桩选择参考表

锤型				柴油锤/t						
				D20	D25	D35	D45	D60	D72	D80
锤动力性能	冲击部分重/t			2.0	2.5	3.5	4.5	6.0	7.2	8.0
	总重/t			4.5	6.5	7.2	9.6	15.0	18.0	19.5
	冲击力/kN			2 000	2 000~ 2 500	2 500~ 4 000	4 000~ 5 000	5 000~ 7 000	7 000~ 10 000	8 000~ 11 000
	常用冲程/m			1.8~2.3						
适用的预应力空心方桩规格/mm				300	300~ 350	350~ 400	400~ 450	450~ 500	500~ 550	550~ 600
持力层	黏性土 粉土	一般进入深度/m		1.0~ 2.0	1.5~ 2.5	2.0~ 3.0	2.5~ 3.5	3.0~ 4.0	3.0~ 5.0	3.5~ 6.0
		静力触探比贯入阻力均值/ (N/mm ²)		3	4	5	>5	>5	>5	>5
	砂土	一般进入深度/m		0.5~ 1.0	0.5~ 1.5	1.0~ 2.0	1.5~ 2.5	2.0~ 3.0	2.5~ 3.5	3.0~ 4.0
		标准贯入击数(N值)		15~ 25	20~ 30	30~ 40	>40	>40	>40	>40
	岩石 (软质)	桩端可进入深度/m	强风化	—	0.5	0.5~ 1.0	1.5~ 2.5	2.0~ 3.0	2.5~ 3.5	3.0~ 4.5
	锤的常用控制贯入度/ (cm/10击)				—	2~3	1~2	1~2	1~2	1~2
单桩竖向承载力/kN				—	1 200~ 2 700	1 500~ 2 700	1 800~ 3 300	2 200~ 4 000	2 600~ 4 800	3 100~ 5 500

- 说明：
1. 本表仅供选锤参考，不能作为设计确定贯入度和承载力的依据，桩锤应根据工程地质情况综合考虑，选用时应遵循“重锤低击”的原则。
 2. 适用于桩长 16 m~40 m，且桩端进入硬土一定深度，不适用于桩端处于软土层的情况。

附 录 E
(资料性)
静压沉桩选择参考表

静压沉桩选择参考表见表 E.1。

表 E.1 静压沉桩选择参考表

项目	压桩机型号				
	160~180	240~280	300~380	400~460	500~560
最大压桩力/kN	1 600~1 800	2 400~2 800	3 000~3 600	4 000~4 600	5 000~5 600
适用的桩规格/mm	300~350	300~400	400~450	450~500	500~550
单桩极限承载力/kN	1 700~2 900	1 700~4 000	2 800~4 800	3 300~5 900	3 800~7 200
桩端持力层	中密~密实砂层、 硬塑~坚硬黏土层、 残积土层	密实砂层、 坚硬黏土层、 全风化岩层	密实砂层、 坚硬黏土层、 全风化岩层	密实砂层、 坚硬黏土层、 全风化岩层、 强风化岩层	密实砂层、 坚硬黏土层、 全风化岩层、 强风化岩层
桩端持力层 标贯值 N _{63.5}	20~25	20~35	30~40	30~50	30~55
穿透中密、密实砂层 厚度/m	约 2	2~3	3~4	4~5	5~7

说明：本表仅供参考,不作为设计确定承载力的依据。

附录 F
(规范性)
锤击沉桩施工记录表

锤击沉桩施工记录表见表 F.1。

表 F.1 锤击沉桩施工记录表

施工单位：

工程名称				空心方桩规格				打桩顺序号													
桩位编号			桩尖类型				桩机类型		锤击												
桩机型号			设计桩顶标高/m				施工桩顶标高/m		单桩承载力特征值/kN												
锤击记录																					
桩节顺序 (从底至顶)	节长/ m	接头检查	锤击起止时间		每米沉桩锤击数							累计 总数	电焊起 止时间								
第一节			日	时 分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
第二节																					
第三节																					
第四节																					
第五节																					
送桩																					
收锤记录																					
收锤时间	月 日 时 分	锤落距				最后贯入度		mm/10 击		mm/10 击		mm/10 击									
配桩长度	m	送桩深度	m	桩入土深度	m	桩高出自然地面		m		桩顶情况		天气									
经灯光或孔内 摄影检查后的 基本情况	抗拔桩机械连接接头影 像资料编号				用开口桩尖时， 方桩内进土高度		m		填表日期		年 月 日										
记录员	机长	技术负责人		项目经理		现场监理															

附录 G
(规范性)
静压沉桩施工记录表

静压沉桩施工记录表见表 G.1。

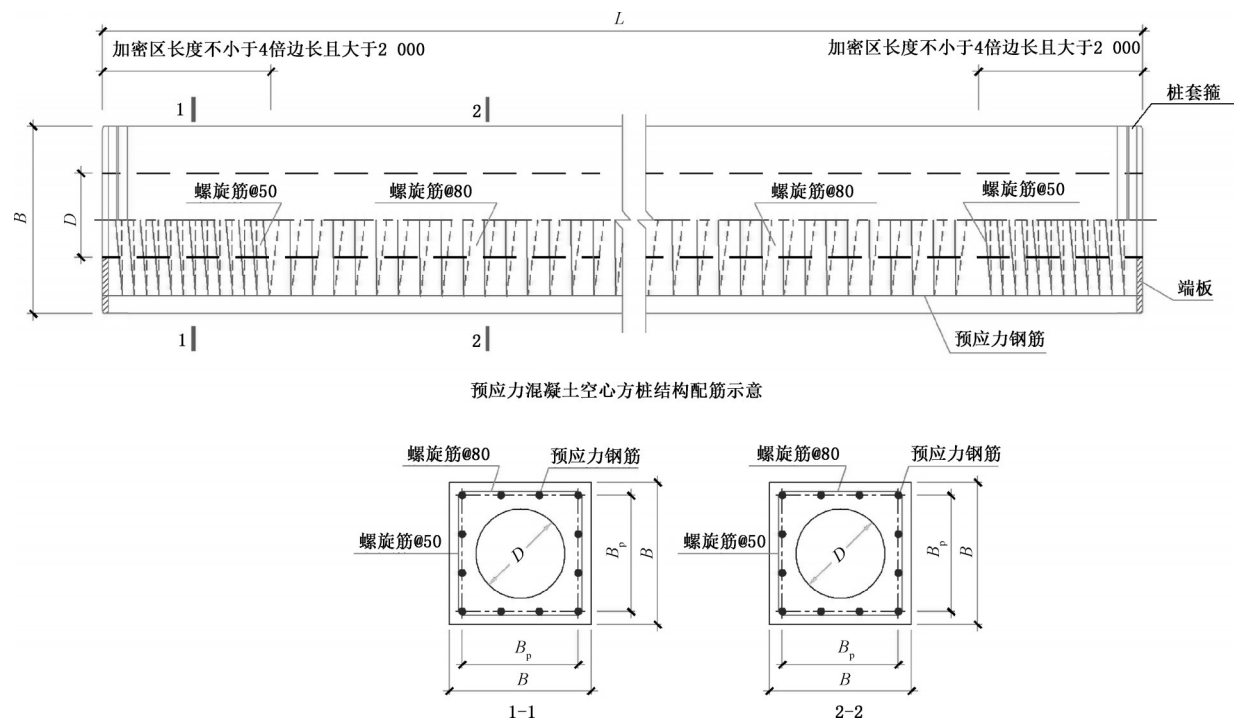
表 G.1 静压沉桩施工记录表

施工单位：

工程名称		空心方桩规格				打桩顺序号				
桩位编号		接头形式		桩尖类型		桩机类型		静压		
桩机型号		设计桩顶标高/m		施工桩顶标高/m		单桩承载力特征值/kN				
静压记录										
桩节顺序(从底至顶)	节长/m	油压值/(N/mm ²)		静压起始时间			静压终止时间		累计时间/min	电焊起止时间
		起始油压	终止油压	日	时	分	日	时		
第一节										
第二节										
第三节										
第四节										
第五节										
送桩										
终止记录										
终止时间	月	日	时	分	最终压力值/kN	终压稳压时间				
配桩长度	m	送桩深度	m	分	桩入土深度	m	桩高出自然地面	m	桩顶情况	
经灯光或孔内摄像检查后的基本情况	抗拔桩机械连接接头影像资料编号				用开口桩尖时，方桩内进土高度		m		天气	
记录员	机长				技术负责人		项目经理		填表日期	年 月 日
										现场监理

附录 H
(资料性)
空心方桩构造示意

空心方桩构造示意图 H.1。



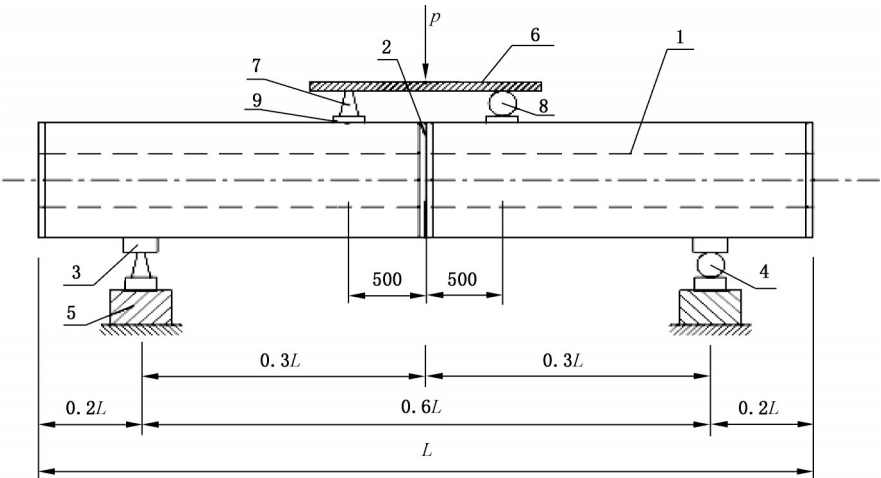
- 1) 空心方桩最外层钢筋的保护层厚度不应小于 35 mm。
- 2) 空心方桩预应力筋配筋率不宜小于 0.5% 且不宜少于 12 根。
- 3) 空心方桩的螺旋箍筋间距为 80 mm, 每节两端加密区不小于 4 倍边长且大于 2 000 mm 长度范围内箍筋加密间距 50 mm。
- 4) 预应力筋间距允许偏差为 ± 5 mm, 螺旋箍筋间距允许偏差加密区为 ± 5 mm, 非加密区为 ± 5 mm。
- 5) 是否保留桩端抱箍板由各生产厂家在保证桩头质量的前提下根据生产工艺合理选择。

图 H.1 空心方桩构造示意图

附录 I
(规范性)

抗拔空心方桩机械接头抗弯性能试验方法

I.1 荷载 P 的方向应垂直于地面,按图 I.1 所示要求放置抗拔空心方桩。



- 标引序号说明:
- 1——空心方桩;
 - 2——空心方桩机械接头;
 - 3——固定铰支座;
 - 4——滚动铰支座;
 - 5——支墩;
 - 6——分配梁;
 - 7——分配梁固定铰支座;
 - 8——分配梁滚动铰支座;
 - 9——方形垫板。

图 I.1 抗拔空心方桩机械接头抗弯试验示意

I.2 加载程序应包括以下三步。

- a) 第一步:按开裂弯矩的 20% 的级差加载至开裂弯矩的 80%,每级荷载持续时间不少于 3 min;然后按开裂弯矩的 10% 的级差继续加载至开裂弯矩的 100%。每级荷载的持续时间不少于 3 min,观察是否有裂缝的出现,测定并记录裂缝宽度。
- b) 第二步:若在开裂弯矩达到 100% 时未出现裂缝,则按开裂弯矩的 5% 级差继续加载至裂缝出现。每级荷载持续时间不少于 3 min,测定并记录裂缝宽度。
- c) 第三步:按弯矩检测值的 5% 级差继续加载至出现下列情况之一为止,每级荷载的持续时间不少于 3 min,观测并记录各项读数:
 - 1) 受拉区混凝土裂缝宽度达到 1.5 mm;
 - 2) 受拉钢筋被拉断;
 - 3) 受压区混凝土破坏;
 - 4) 桩接头处机械连接件破坏。

I.3 开裂弯矩应按式(I.1)计算:

$$M = \frac{P}{4} \left(\frac{3}{5} L - 1 \right) + \frac{1}{40} WL \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

式中：

M ——开裂弯矩,单位为千牛米(kN·m)；

W ——空心方桩重量,单位为千牛(kN)；

L ——空心方桩长度,单位为米(m)；

P ——荷载(包括加载设备的重量),单位为千牛(kN)。

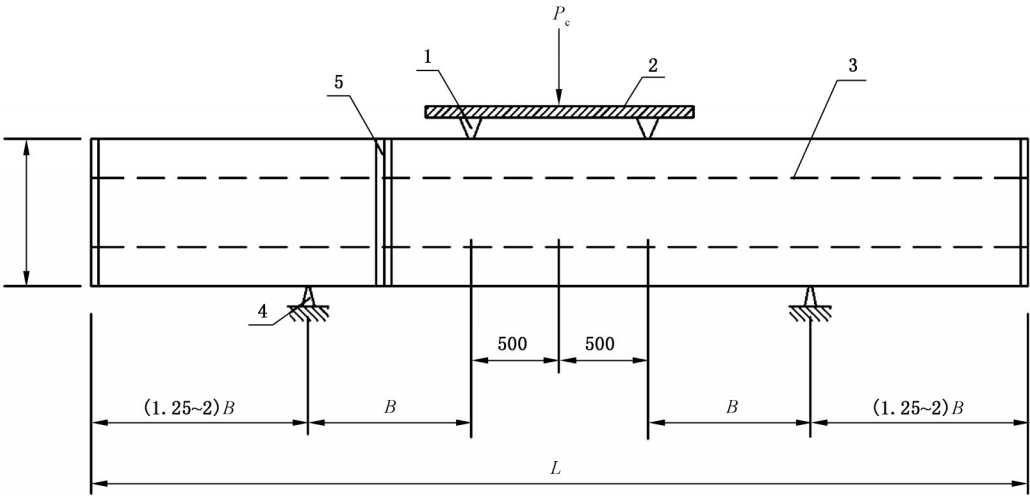
I.4 开裂荷载和极限荷载应按下列要求确定：

- a) 当在加载过程中第一次出现裂缝时,应取前一级荷载作为开裂荷载实测值;当在规定的荷载持续时间内第一次出现裂缝时,应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为开裂荷载实测值;当在规定的荷载持续时间结束后第一次出现裂缝时,应取本级荷载作为开裂弯矩实测值。
- b) 当在规定的荷载持续时间结束后出现第三步所列的情况之一时,应取此时的荷载值作为极限荷载实测值;当在加载过程中出现上述情况之一时,应取前一级荷载值作为极限荷载实测值;当在规定的荷载持续时间内出现上述情况之一时,应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为极限荷载实测值。
- c) 抗拔空心方桩机械接头抗弯性能的弯矩检测值按桩身受弯承载力设计值的1.0倍取值。

附录 J
(规范性)

抗拔空心方桩机械接头抗剪性能试验方法

J.1 荷载 P_c 的方向应垂直于地面,按图 J.1 所示要求放置抗拔空心方桩。



标引序号说明:
1——分配梁支点;
2——分配梁;
3——空心方桩;
4——支座;
5——空心方桩机械接头
 L ——试验用样品桩长;
 B ——剪跨(空心方桩边长)。

图 J.1 抗拔空心方桩接头抗剪试验示意图

J.2 加载程序应包括以下三步。

- a) 第一步:按开裂剪力的 20% 的级差加载至抗裂剪力的 80%,每级荷载持续时间不少于 3 min;然后按开裂剪力的 10% 的级差继续加载至开裂剪力的 100%。每级荷载的持续时间不少于 3 min,观察是否有裂缝的出现,测定并记录裂缝宽度。
- b) 第二步:如果在开裂剪力达到 100% 时未出现裂缝,则按开裂剪力的 5% 级差继续加载至裂缝出现。每级荷载持续时间不少于 3 min,测定并记录裂缝宽度。
- c) 第三步:按剪力检验值的 5% 级差继续加载至出现下列情况之一为止,每级荷载的持续时间不少于 3 min,观测并记录各项读数:
 - 1) 预应力钢筋镦头拉断,荷载开始下降;
 - 2) 桩接头处机械连接件破坏;
 - 3) 桩身裂缝宽度达到 1.5mm;
 - 4) 连接接头端板焊缝破坏。

J.3 开裂剪力应按式(J.1)计算:

$$Q = \frac{P_c}{2} \dots\dots\dots (J.1)$$

式中：

Q ——开裂剪力,单位为千牛(kN)；

P_c ——剪跨区产生斜拉裂纹时的荷载,单位为千牛(kN)。

J.4 开裂荷载和极限荷载应按下列要求确定：

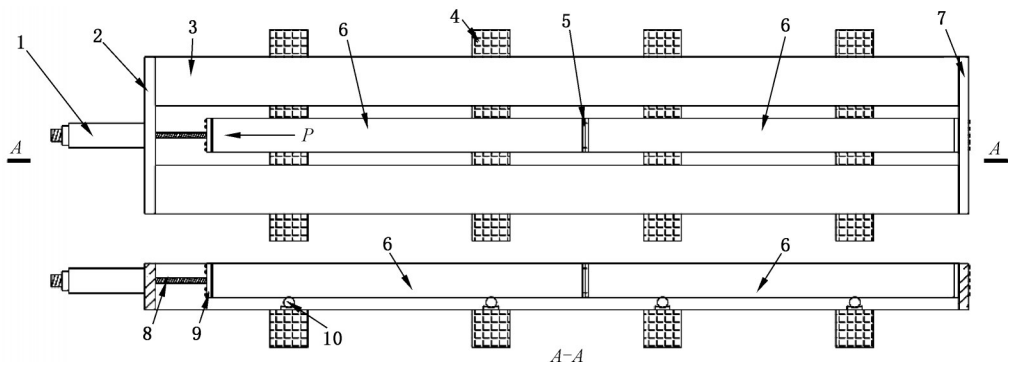
- a) 当在加载过程中第一次出现裂缝时,应取前一级荷载作为开裂荷载实测值；当在规定的荷载持续时间内第一次出现裂缝时,应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为开裂荷载实测值；当在规定的荷载持续时间结束后第一次出现裂缝时,应取本级荷载作为开裂荷载实测值。
- b) 当在规定的荷载持续时间结束后出现第三步所列的情况之一时,应取此时的荷载值作为极限荷载实测值；当在加载过程中出现上述情况之一时,应取前一级荷载值作为极限荷载实测值；当在规定的荷载持续时间内出现上述情况之一时,应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为极限荷载实测值。
- c) 抗拔空心方桩机械接头抗剪性能的受剪检测值按桩身受剪承载力设计值的 1.1 倍取值。

附 录 K
(规范性)

抗拔空心方桩机械接头抗拉性能试验方法

K.1 抗拔空心方桩抗拉性能试验分为受拉承载力设计值试验和受拉承载力检验值试验两类。

K.2 抗拔空心方桩抗拉试验采用水平加载装置,试件按图 K.1 放入水平加荷装置,其中加载力的方向应水平且与试件的桩身轴线重合。



- 标引序号说明:
- 1——200 t张拉机;
 - 2——止定板;
 - 3——抗压装置;
 - 4——工作台;
 - 5——插销接头;
 - 6——抗拔空心方桩;
 - 7——锚固板;
 - 8——抗拉螺杆;
 - 9——张拉板;
 - 10——圆钢。
- 注:必要时可在试验装置的固定端或张拉端加设压力传感器。

图 K.1 抗拔空心方桩机械接头抗拉试验示意

K.3 一般的型式检验仅需做受拉承载力设计值试验。当仅进行受拉承载力设计值试验时,其加载程序如下:

- a) 按受拉承载力设计值的 20% 的级差,逐级由零加载至受拉承载力设计值的 80% ,每级荷载持续时间为 3 min;
- b) 按受拉承载力设计值的 10% 的级差加载至 100% ,每级荷载持续时间为 3 min,试验荷载达到受拉承载力设计值后,持续 30 min,观察试件是否出现裂缝。

K.4 当试验荷载达到受拉承载力设计值后,在持荷时间内,试件不出现裂缝,可认定试件机械连接接头的抗拉性能合格。

K.5 当需要进行受拉承载力检验值试验时,其加载程序为:在完成受拉承载力设计值加载程后,以空心方桩二级裂缝控制等级计算的受拉承载力检验值的 5% 为级差加载至极限状态,每级荷载持续时间为 3 min。

K.6 抗拉性能试验若出现下列情况之一,即认为达到极限状态,试验终止:

- a) 端板剪切破坏,荷载开始下降;
- b) 预应力钢筋锚头拉断;
- c) 桩接头处连接件破坏;
- d) 桩身裂缝宽度达到 1.5 mm。
- e) 抗拔空心方桩机械接头抗拉性能的受拉检测值按桩身受拉承载力设计值的 1.25 倍取值。

参 考 文 献

- [1] JG/T 163 钢筋机械连接用套筒
-

DB32/T 4285—2022《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》
江苏省地方标准第 1 号修改单

本修改单经江苏省市场监督管理局、江苏省住房和城乡建设厅于 2024 年 7 月 24 日批准,自 2024 年 8 月 24 日起实施。

将 5.3.9 由“液化土中的空心方桩,应满足具体工程抗震承载力计算的要求,适当调整桩身主筋和箍筋的配置,应取桩顶至液化土层底面埋深以下不小于 1.0 m 的范围,且其主筋和箍筋均提高一个规格使用。”修改为“液化土中的空心方桩,应满足具体工程抗震承载力计算的要求,应取桩顶至液化土层底面埋深以下不小于 1.0 m 的范围,其箍筋直径应加粗一个规格使用。”
