

天津市工程建设标准

DB

DB29-213-2012  
备案号J12113-2012

---

# 预应力混凝土空心方桩 技术规程

Technical specification for prestressed spun  
concrete square pile foundation

2012-08-21 发布

2012-11-01实施

---



天津市城乡建设和交通委员会 发布

天津市工程建设标准

# 预应力混凝土空心方桩技术规程

Technical specification for  
prestressed spun concrete square pile foundation

DB29-213-2012

J12113-2012

主编单位：天津市勘察院

批准部门：天津市城乡建设和交通委员会

实施日期：2012年11月01日

2012 天 津

## 天津市城乡建设和交通委员会文件

建科[2012]814号

签发人：韩培俊

关于颁布《预应力混凝土空心方桩技术规程》  
的通知

各有关单位：

为了贯彻执行国家的技术经济政策，使预应力混凝土空心方桩安全适用、技术先进、经济合理、确保工程质量，天津市勘察院等单位按照我委《关于下达 2011 年度天津市建设系统第一批工程建设地方标准编制计划的通知》（建科[2011]997 号）的文件要求，编制完成了《预应力混凝土空心方桩技术规程》。经我委组织专家审定，现批准《预应力混凝土空心方桩技术规程》（DB29-213-2012）为我市地方工程建设标准，自 2012 年 11 月 1 日起在我市实施。其中，第 3.1.1、3.1.4、3.1.6、4.3.2、4.4.2、7.3.3 条为强制性条文，必须严格执行。

各相关单位要认真执行本规程，实施过程中如有不明之处及修改意见请及时反馈给天津市勘察院。

本规程由天津市城乡建设和交通委员会负责管理及对强制性条文的解释。

本规程由天津市勘察院负责具体技术内容的解释。

本规程由天津市建设工程技术研究所负责征订和发行，任何单位和个人不得翻印和复制。

特此通知

天津市城乡建设和交通委员会  
二〇一二年八月二十一日

本规程是根据天津市城乡建设和交通管理委员会《关于下达 2011 年度天津市建设系统第一批工程建设地方标准编制计划的通知》（建科[2011]997 号）文件要求，在遵照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011）、《混凝土结构设计规范》（GB 50010）、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB 50202）、行业标准《建筑桩基技术规范》（JGJ 94）、《建筑基桩检测技术规范》（JGJ 106）等标准的基础上，总结天津市近些年来的研究成果和工程实践经验编制而成。

本规程主要内容包括预应力混凝土空心方桩工程的勘察、设计、施工和检测，分为 7 章 3 个附录。主要章节有：总则；术语和符号；基本规定；空心方桩桩基设计；空心方桩制作、规格和质量要求；空心方桩桩基施工；质量检查与验收。

本规程中 3.1.1、3.1.4、3.1.6、4.3.2、4.4.2、7.3.3 条为强制性条文，以黑体字标志，必须严格执行。

本规程由天津市城乡建设和交通委员会负责管理及强制性条文的解释，由主编单位负责具体技术内容的解释。在本规程实施过程中，各使用单位有什么新的经验和建议，请将意见和有关资料寄给主编单位，以便修订时参考。

本规程主编单位：天津市勘察院

本规程参编单位：天津市建设工程技术研究所

天津市建筑设计院

天津大学规划建筑设计研究院

天津大学建筑工程学院

天津华汇工程建筑设计有限公司

天津城市建设学院

天津市博川岩土工程有限公司

天津中技桩业有限公司

天津建华管桩有限公司

天津建城基业集团有限公司  
天津宝丰混凝土桩杆有限公司

本规程主要起草人员: 吴永红 李连营 周玉明 陈敖宜  
丁永君 王成华 赵志峰 左克伟  
钟玉洁 杨德建 宋昭煌 殷亚斌  
袁庆元 陈芳斌 刘永超 李树清  
梁俊 吴显方 杨末丽  
本规程主要审查人员: 郑刚 文礼彬 胡德均 张文龄  
方继圣 毕继成 王献敏

## 目次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	5
3.1 一般规定	5
3.2 桩的类型与布置	7
3.3 勘察要求	9
4 空心方桩桩基设计	10
4.1 一般规定	10
4.2 经验参数法估算单桩承载力	11
4.3 桩基计算	14
4.4 方桩连接和节点	20
5 空心方桩制作、规格和质量要求	22
5.1 规格分类	22
5.2 原材料要求	22
5.3 桩身构造要求	23
5.4 产品质量要求	24
6 空心方桩桩基施工	27
6.1 一般规定	27
6.2 静压法沉桩	32
6.3 锤击法沉桩	34
7 质量检查与验收	37
7.1 一般规定	37
7.2 桩质量检查	38

## Contents

7.3 单桩承载力和桩身完整性检测 .....	40
7.4 空心方桩桩基工程验收 .....	41
附录 A 预应力混凝土空心方桩抗弯性能表 .....	43
附录 B 预应力混凝土空心方桩构造示意图 .....	45
附录 C 预应力混凝土空心方桩施工记录表 .....	46
本规程用词说明 .....	47
本规程引用标准名录 .....	48
本规程条文说明 .....	49

1 General Provisions .....	1
2 Terms and Symbols .....	2
2.1 Terms .....	2
2.2 Symbols .....	3
3 Basic Requirements .....	5
3.1 General .....	5
3.2 Types and Arrangement of Prestressed Spun Concrete Square Pile .....	7
3.3 Investigation Requirements .....	9
4 Prestressed Spun Concrete Square Pile Foundation Design .....	10
4.1 General .....	10
4.2 Estimation Bearing Capacity of Single Pile .....	11
4.3 Prestressed Spun Concrete Square Pile Foundation Calculation .....	14
4.4 Linking and Node of Prestressed Spun Concrete Square Pile .....	20
5 Production, Specifications and Quality Requirements of Prestressed Spun Concrete Square Pile .....	22
5.1 Classification of Specification .....	22
5.2 Requirements of Raw Materials .....	22
5.3 Structural Requirements of Prestressed Spun Concrete Square Pile .....	23
5.4 Quality Requirements of Production .....	24
6 Prestressed Spun Concrete Square Pile Foundation Construction .....	27
6.1 General .....	27
6.2 Static Piledriving .....	32
6.3 Hammer Piledriving .....	34

7	Quality Inspection and Acceptance .....	37
7.1	General.....	37
7.2	Quality Inspection .....	38
7.3	Bearing Capacity of Single Pile and Testing of Pile Integrity.....	40
7.4	Prestressed Spun Concrete Square Pile Foundation Acceptance.....	41
Appendix A Bending Resistance Function of Prestressed Spun Concrete Square Pile .....		43
Appendix B Structural Sketch Map of Prestressed Spun Concrete Square Pile.....		45
Appendix C Record Form for Prestressed Spun Concrete Square Pile Construction .....		46
Explanation of Wording in This Code .....		47
List of Quoted Standards .....		48
Addition: Explanation of Provisions .....		49

## 1 总 则

1.0.1 为了贯彻执行国家的技术经济政策,使预应力混凝土空心方桩安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于天津市工程建设桩基工程中采用的预应力混凝土空心方桩勘察、设计、制桩、施工、检测与验收。

1.0.3 预应力混凝土空心方桩的应用,应综合考虑地质条件、荷载特征、工程性质、施工技术条件与环境、检测条件等因素,做到精心勘察、设计、施工及检测。

1.0.4 预应力混凝土空心方桩除应符合本规程外,尚应符合国家和天津市现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 预应力混凝土空心方桩 prestressed spun concrete square piles

预应力混凝土空心方桩是采用先张法预应力工艺和离心成型法制成的一种外方内圆空心筒体细长混凝土预制构件,按混凝土强度等级及壁厚分为 PHS 桩、PS 桩和 PTS 桩。PHS 桩是指混凝土强度不低于 C80 的空心方桩;PS 桩是指混凝土强度低于 C80 且不低于 C60 的空心方桩;PTS 桩是指混凝土强度低于 C80 且不低于 C60,且预应力筋保护层厚度小于规定厚度的预应力混凝土空心方桩。

#### 2.1.2 锤击法 hammer driving

利用锤击打桩机的锤击能量将桩沉入岩土层中的方法。

#### 2.1.3 静压法 static pressing

利用静压桩机设备的静压力将桩沉入岩土层中的方法。

#### 2.1.4 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。

#### 2.1.5 单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of single pile

单桩在竖向荷载作用下到达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,它取决于土对桩的支承阻力和桩身材料强度。

#### 2.1.6 单桩竖向承载力特征值 characteristic value of the vertical

bearing capacity of a single pile

单桩极限承载力标准值除以安全系数后的承载力值。

### 2.2 符 号

$A_p$ ——空心方桩桩身横截面积;

$A_g$ ——预应力钢筋面积;

$A_s$ ——空心方桩灌芯受拉钢筋面积;

$E_{si}$ ——桩端平面下第  $i$  层土的压缩模量;

$E_s$ ——沉降计算简化式中桩尖下土的平均压缩模量;

$Q_{sk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值;

$R$ ——基桩竖向承载力特征值;

$R_{ex}$ ——单桩竖向承载力特征值;

$R_{ex}$ ——相应于荷载效应基本标准组合时的单桩竖向抗拔承载力特征值;

$R_h$ ——单桩水平承载力特征值;

$R_p$ ——空心方桩桩身结构竖向承载力设计值;

$N_c$ ——荷载效应标准组合时桩顶的轴心拉力设计值;

$T_{uk}$ ——群桩呈非整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值;

$\alpha$ ——桩的水平变形系数;

$\sigma_{ck}$ ——荷载效应标准组合下正截面法向应力;

$\sigma_{pc}$ ——扣除全部应力损失后,桩身混凝土的预应力;

$b_0$ ——桩身的计算宽度;

$d$ ——空心方桩的外边长;

$f_t$ ——桩身混凝土轴心抗拉强度设计值;

$f_c$ ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值;

$f_{py}$ ——预应力钢筋的抗拉强度设计值;  
 $f_y$ ——钢筋的抗拉强度设计值;  
 $h$ ——桩入土深度;  
 $m$ ——桩侧土水平抗力系数的比例系数;  
 $p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的桩端平面处的附加力;  
 $q_{sik}$ ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值;  
 $q_{pk}$ ——桩的极限端阻力标准值;  
 $s$ ——桩基最终沉降量;  
 $u$ ——桩身周长;  
 $\lambda_i$ ——桩侧第*i*层土的抗拔系数;  
 $\psi_s$ ——桩基沉降经验系数;  
 $\psi_c$ ——工作条件系数;  
 $X_{ca}$ ——桩顶允许水平位移;  
 $U_x$ ——桩顶水平位移系数。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

3.1.1 预应力混凝土空心方桩(以下简称空心方桩)的使用及适用范围应符合下列规定:

1 民用建筑使用空心方桩时,其适用层数(及高度)应符合表 3.1.1 的规定:

表 3.1.1 民用建筑适用层数

区域	无地下室	有地下室
厚层软土地区	≤3 层(高度不超过 10m)	≤12 层(高度不超过 40m)
其他地区	≤9 层(高度不超过 30m)	≤18 层(高度不超过 55m)

注:厚层软土地区是指软土厚度≥5m的地区。

2 预应力薄壁混凝土空心方桩(PTS 桩)不能用于建(构)筑物的桩基础及腐蚀性地区;

3 预应力筋保护层厚度小于 40mm 的空心方桩不能用于建筑桩基础。

3.1.2 根据建筑物规模、功能特征、对差异沉降的要求、场地地基和建筑物体形的复杂性以及由于桩基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,空心方桩桩基础的设计等级应符合表 3.1.2 的规定。

3.1.3 空心方桩桩基应根据具体条件分别进行下列计算和验算:

1 应根据桩基的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力计算和水平承载力计算;



表 3.1.2 空心方桩桩基设计等级

设计等级	建筑类型
甲级	1)重要的工业与民用建筑物; 2)厚层软土地区超过12层、其他地区超过18层的建筑物; 3)体型复杂且层数相差超过10层的高低层(含纯地下室)连体建筑物; 4)对差异沉降有特殊要求的建筑物; 5)场地和地基条件复杂的6层以上的一般建筑物、岸边建筑; 6)对相邻既有工程影响较大的建筑物。
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物。
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的6层及6层以下的一般建筑物。

2 应对桩身承载力进行验算;对于桩身露出地面或桩侧为可液化土、土的不排水剪切强度小于 10kPa 且长径比大于 50 的桩应进行桩身压屈验算;并应按施工阶段吊装、运输和锤击作用进行强度验算;

3 当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;

4 对位于坡地、岸边的桩基应进行整体稳定性验算及抗滑验算;

5 对于抗浮、抗拔桩基,应进行基桩和群桩的抗拔承载力验算;

6 当采用锤击法沉桩需穿透厚层密实土层时,应进行桩身锤击拉应力验算;

7 应根据桩基所处的环境类别和相应的裂缝控制等级,进行空心方桩抗裂验算。

3.1.4 空心方桩应按现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011)及《建

筑桩基技术规范》(JGJ 94)的有关规定进行竖向及水平抗震承载力验算。

3.1.5 空心方桩抗震设计尚应符合以下规定:

1 应满足《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)第 3.4.6 条的有关规定;

2 抗震设防烈度为 8 度地区的桩基及高层建筑桩基础不宜采用 PS 空心方桩;厚层软土地区抗震设防烈度为 8 度时,不宜采用空心方桩。

3.1.6 下列情况应进行空心方桩桩基沉降计算:

1 设计等级为甲级的桩基;

2 设计等级为乙级的体形复杂、荷载分布不均匀或桩端以下存在软弱土层的桩基;

3 存在对周围建筑物及设施有不利影响的大面积地面堆载的桩基。

3.1.7 软土地基的桩基设计应符合下列原则:

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

2 基坑开挖时,应防止土体侧移对桩产生不良影响,且应考虑基坑挖土顺序和控制分层开挖厚度;

3 厚层软土地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。

### 3.2 桩的类型与布置

3.2.1 空心方桩按承载性状分类:

1 抗压桩:主要承受轴心压力作用,在承载能力极限状态下,

桩顶荷载由桩侧阻力以及桩端阻力承担;

2 抗拔桩:主要承受轴心拉力作用,在承载能力极限状态下,桩顶荷载由桩侧阻力承担;

3 抗水平荷载桩:主要承受水平侧压力作用,在承载能力极限状态下,桩顶荷载由桩身和桩侧土共同承担。

### 3.2.2 空心方桩按挤土类型分类:

1 部分挤土桩:预钻孔打入(静压)空心方桩、敞口空心方桩;

2 挤土桩:闭口空心方桩。

### 3.2.3 空心方桩的布置应符合下列条件:

1 桩的中心距应符合表 3.2.3 的规定,当有工程经验时可适当减小,对于大面积群桩宜适当加大:

表 3.2.3 桩的最小中心距

土类与沉桩工艺		排数不少于 3 排且桩数 不少于 9 根的桩基	其他 情况
部分挤土桩	桩端开口	4.0d	3.5d
挤土桩	桩端闭口	4.5d	4.0d

注: d——空心方桩边长。

2 排列空心方桩时,宜使桩群承载力合力点与竖向永久荷载合力作用点重合,并使桩基受水平力和力矩较大方向有较大抗弯刚度;

3 对于桩箱基础、剪力墙结构桩筏(含平板和梁板式承台)基础,宜将桩布置于墙下和梁下;

4 对于框筒、框剪结构应按荷载分布并强化荷载集度高的核心筒和内部剪力墙区桩基刚度的原则布桩;

5 应选择较硬土层作为桩端持力层。桩端全断面进入持力层的深度,对于黏性土、粉土不宜小于 2d,砂土不宜小于 1.5d;当存在软弱下卧层时,桩端以下硬持力层厚度不宜小于 4d;可液化土层不得作为桩端持力层。

## 3.3 勘察要求

3.3.1 岩土工程勘察应充分评价桩端持力层的均匀性及分布稳定性,当持力层的性质或状态在水平方向变化较大或相邻两个勘探孔揭示的持力层顶板坡度大于 10%时,应适当加密勘探孔,必要时对持力层分布规律进行分区评价。

3.3.2 当桩端持力层为较密实的粉土、砂土层及桩身范围内分布较厚的粉土、砂土层时,应采用静力触探、标准贯入试验等原位勘测手段查清其水平向分布规律、厚度变化及其密实程度。

3.3.3 岩土工程勘察报告在满足相关规范的前提下,应对空心方桩基础进行下列重点评价:

1 对沉桩可能性进行定性分析、评价,对重要建筑物宜进行定量分析、评价;

2 对沉桩可能产生的挤土效应及可能对支护结构、周围环境等造成的不良影响进行分析、评价;

3 对软土地区后期基坑开挖、堆土等容易造成桩位偏移等不利因素进行分析、评价。

## 4 空心方桩桩基设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 空心方桩基础设计应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010)和行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)等的有关规定。

4.1.2 空心方桩的最小配筋率不宜低于 0.5%。

4.1.3 当空心方桩穿越厚层软土、承台底面有液化土层、采用高桩承台且桩长径比大于 50 时,应考虑空心方桩的稳定性及对承载力的影响。

4.1.4 应根据场地工程地质条件、上部结构特点、荷载大小及施工设备,合理选用空心方桩的规格和型号。

4.1.5 边长不小于 300mm 的空心方桩预应力筋保护层厚度不得小于 40mm;边长小于 300mm 的空心方桩预应力筋保护层厚度不得小于 25mm。

4.1.6 在空心方桩设计前,应按下列要求进行试桩:

1 设计等级为甲级和乙级的空心方桩桩基工程,单桩竖向及水平承载力应由静载荷试验确定;

2 对于主要承受水平力的空心方桩,单桩水平承载力应由单桩水平静载荷试验确定;

3 对于承受抗拔力的空心方桩,单桩抗拔承载力应由单桩抗拔静载荷试验确定。

### 4.2 经验参数法估算单桩承载力

4.2.1 单桩竖向极限承载力标准值可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系按下式估算:

$$Q_{sk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (4.2.1)$$

式中:  $Q_{sk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值(kN);

$q_{sik}$ ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值(kPa);

$q_{pk}$ ——桩的极限端阻力标准值(kPa);

$u$ ——桩身周长(m);

$l_i$ ——桩侧第*i*层土的厚度(m);

$A_p$ ——桩身横截面积( $m^2$ )。

4.2.2 桩的极限侧阻力标准值  $q_{sk}$  可按照表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 桩的极限侧阻力标准值  $q_{sk}$  (kPa)

土的名称	土的状态	$q_{sk}$	土的名称	土的状态	$q_{sk}$
填土			粉土	$N < 12$ $e > 0.90$	35~50
淤泥		10~20		$12 \leq N < 18$ $0.75 < e \leq 0.90$	50~65
淤泥质土		20~25		$N \geq 18$ $E \leq 0.75$	65~85
黏性土	$l_k > 1$	20~35	粉细砂	$N < 10$	30~40
	$0.75 < l_k \leq 1$	35~50		$10 \leq N < 15$	40~55
	$0.5 < l_k \leq 0.75$	50~65		$15 \leq N < 30$	55~75
	$0.25 < l_k \leq 0.5$	65~80		$N \geq 30$	75~100
	$0 < l_k \leq 0.25$	80~90	中砂	$15 \leq N < 30$	65~85
	$l_k \leq 0$	90~100		$N \geq 30$	85~105
			粗砂	$N \geq 30$	95~115

注: ①对于尚未完成固结的填土和以生活垃圾为主的杂填土, 不计其摩阻力; ②新近沉积黏性土应将表中数值乘以 0.8 折减系数; ③土层平均深度小于 5m 时, 应适当折减; 大于 30m 时, 取较高值; ④N 值为未经修正的标贯击数实测值; ⑤表内值可内插。

#### 4.2.3 桩的极限端阻力标准值 $q_{pk}$ 可按下列规定确定:

1 桩端为黏性土的极限端阻力标准值  $q_{pk}$  可按照表 4.2.3-1 确定。

表 4.2.3-1 桩端为黏性土的极限端阻力标准值  $q_{pk}$  (kPa)

土的状态 $I_L$	桩入土深度(m)			
	$H \leq 9$	$9 < H \leq 16$	$16 < H \leq 30$	$H > 30$
$\leq 0.25$	2500~3400	3400~4400	4400~5500	5500~6500
0.25~0.50	1700~2500	2200~3400	2700~4400	3400~5500
0.50~0.75	850~1700	1400~2200	1800~2700	2100~3400
0.75~1.00	300~850	700~1400	1100~1800	1300~2100

注: ①本表适用于桩端下持力层厚度  $\geq 4d$  的方桩, 厚度  $< 4d$  时应适当折减; ②d 为方桩边长; ③h 为方桩入土深度。

2 桩端为粉土、砂土的极限端阻力标准值  $q_{pk}$  可按照表 4.2.3-2 确定。

表 4.2.3-2 桩端为粉土、砂土的极限端阻力标准值  $q_{pk}$  (kPa)

N(击)	桩端进入持力层深度(m)					
	1d	2d	3d	4d	5d	$\geq 6d$
15~25	1600~2000	1800~2500	2100~2500	2400~3500	2700~4000	3000~4500
25~35	2000~2400	2500~3100	2500~3400	3500~4600	4000~5400	
35~45	2400~3000	3100~4000	3400~5100	4600~6200		
45~50	3000~3500	4000~4800	5100~6200			

注: ①查表时根据土的密实状态、桩端进入持力层深度以及桩端下土层厚度综合确定, 厚度大时取较高值, 反之取较低值; ②d 为方桩边长。

4.2.4 单桩抗拔极限承载力标准值可按下列规定进行估算:

1 空心方桩单桩抗拔极限承载力标准值可按下式进行估算:

$$T_{uk} = u \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (4.2.4)$$

式中:  $T_{uk}$ ——群桩呈非整体性破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值(kN);

$\lambda_i$ ——侧第  $i$  层土的抗拔系数。

2 抗拔系数  $\lambda$  可按表 4.2.4 取值。

表 4.2.4 抗拔系数  $\lambda$

土类	砂土	粉土	黏性土	淤泥质土
$\lambda$ 值	0.5~0.7	0.7~0.8	0.7~0.8	0.8

注: 抗拔力由试验获得时,  $\lambda=1.0$ 。

4.2.5 单桩水平承载力特征值可按下列规定进行估算:

1 当桩的水平承载力由水平位移控制, 且缺少单桩水平静载试验资料时, 可按下列公式估算空心方桩的单桩水平承载力特征值。

$$R_{hs} = 0.75 \frac{a^3 EI}{\nu_s} \chi_{os} \quad (4.2.5-1)$$

式中:  $EI$ ——桩身抗弯刚度(MNm<sup>2</sup>);

$A$ ——桩的水平变形系数(1/m);

$\chi_{os}$ ——桩顶允许水平位移(mm), 可取 2mm~5mm, 软土、配筋率低时取小值;

$\nu_s$ ——桩顶水平位移系数。

2 桩的水平变形系数  $\alpha$  可按下式计算确定:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (4.2.5-2)$$

式中:  $m$ ——桩侧土水平抗力系数的比例系数(MN/m<sup>4</sup>);

$b_0$ ——桩身的计算宽度(m),  $b_0=1.5d+0.5$ 。

### 4.3 桩基计算

#### 4.3.1 桩顶作用效应计算应符合下列要求:

对于一般建筑物和受水平力(包括力矩与水平剪力)较小的高大建筑物的群桩基础在进行承载力设计时,应按下列公式计算群桩中基桩的桩顶作用效应。

##### 1 竖向力

轴心竖向力作用下

$$N_k = (F_k + G_k) / n \quad (4.3.1-1)$$

偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = (F_k + G_k) / n \pm M_{xk} y_i / \sum y_j^2 \pm M_{yk} x_i / \sum x_j^2 \quad (4.3.1-2)$$

##### 2 水平力

$$H_{ik} = H_k / n \quad (4.3.1-3)$$

式中:  $F_k$ ——荷载效应标准组合下, 作用于承台顶面的竖向力(kN);

$G_k$ ——桩基承台和承台上土自重标准值, 对于稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力(kN);

$N_k$ ——荷载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(kN);

$N_{ik}$ ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下, 第  $i$  基桩或复合基桩的竖向力(kN);

$M_{xk}$ 、 $M_{yk}$ ——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(kNm);

$x_i$ 、 $x_j$ 、 $y_i$ 、 $y_j$ ——第  $i$ 、 $j$  基桩或复合基桩至  $y$ 、 $x$  轴的距离 (m);

$H_{ik}$ ——荷载效应标准组合下, 作用于第  $i$  基桩或复合基桩的水平力(kN);

$H_k$ ——荷载效应标准组合下, 作用于桩基承台底面的水平力(kN);

$n$ ——桩基中的桩数。

#### 4.3.2 桩基竖向承载力计算应符合下列要求:

##### 1 荷载效应标准组合:

轴心竖向力作用下

$$N_k \leq R \quad (4.3.2-1)$$

偏心竖向力作用下, 除满足上式外, 尚应满足下式的要求:

$$N_{k \max} \leq 1.2R \quad (4.3.2-2)$$

##### 2 地震作用效应和荷载效应标准组合:

轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \leq 1.25R \quad (4.3.2-3)$$

偏心竖向力作用下, 除满足上式外, 尚应满足下式的要求:

$$N_{Ek \max} \leq 1.5R \quad (4.3.2-4)$$

式中:  $N_k$ ——荷载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(kN);

$N_{k \max}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下, 桩顶最大竖向力(kN);

$N_{Ek}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下, 基桩或复合基桩的平均竖向力(kN);

$N_{Ek\max}$ ——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(kN);

$R$ ——桩竖向承载力特征值(kN)。

#### 4.3.3 单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列要求:

单桩竖向承载力特征值为单桩竖向极限承载力除以安全系数

2.0,按下式计算:

$$R_a = Q_{uk} / 2 \quad (4.3.3)$$

式中:  $R_a$ ——单桩竖向承载力特征值(kN);

$Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值(kN)。

#### 4.3.4 单桩抗拔承载力特征值的确定应符合下列要求:

1 承受拔力的桩基,应按下列公式同时验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力,并按现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010)验算基桩材料的受拉承载力。

$$N_k \leq T_{gk} / 2 + G_{gp} \quad (4.3.4-1)$$

$$N_k \leq T_{sk} / 2 + G_p \quad (4.3.4-2)$$

式中:  $N_k$ ——按荷载效应标准组合计算的基桩拔力(kN);

$T_{gk}$ ——群桩呈整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值(kN);

$T_{sk}$ ——群桩呈非整体破坏时基桩抗拔极限承载力标准值(kN);

$G_{gp}$ ——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(kN);

$G_p$ ——基桩自重,地下水位以下取浮重度(kN)。

2 对于严格要求不出现裂缝的一级裂缝控制等级空心方桩,在

荷载效应标准组合下混凝土不应产生拉应力,应符合下式要求:

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (4.3.4-3)$$

式中:  $\sigma_{ck}$ ——荷载效应标准组合下正截面法向应力(MPa);

$\sigma_{pc}$ ——扣除全部应力损失后,桩身混凝土的预应力(MPa)。

3 对于一般要求不出现裂缝的二级裂缝控制等级空心方桩,在荷载效应标准组合下的拉应力不应大于混凝土轴心抗拉强度标准值,应符合下式要求:

在荷载效应标准组合下:

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (4.3.4-4)$$

在荷载效应准永久组合下:

$$\sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (4.3.4-5)$$

式中:  $\sigma_{cq}$ ——荷载效应准永久组合下正截面法向应力(MPa);

$f_{tk}$ ——混凝土轴心抗拉强度标准值(MPa)。

#### 4.3.5 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列要求:

1 受水平荷载的一般建筑物和水平荷载较小的高大建筑物单桩基础和群桩中基桩应满足下式要求:

$$H_{ik} \leq R_{ha} \quad (4.3.5)$$

式中:  $H_{ik}$ ——相应于荷载效应标准组合时,作用于任一单桩的水平力(kN);

$R_{ha}$ ——单桩水平承载力特征值(kN)。

2 当作用于桩基上的外力主要为水平力时,应根据使用要求对桩顶变形的限制,对桩基的水平承载力进行验算。当外力作用面的桩距较大时,桩基的水平承载力可视为各单桩的水平承载力的总和;

3 在施工阶段或使用阶段桩身承受较大水平力作用时,除应验算水平承载力外,尚应验算抗裂承载力和抗侧刚度满足相关要求。

4.3.6 桩身结构承载力验算应考虑桩身材料强度、沉桩工艺、吊运与沉桩、约束条件等因素。桩身强度应符合下式要求:

$$N \leq A_p f_c \psi_c \quad (4.3.6)$$

式中:  $N$ ——荷载效应基本组合时桩顶的轴向压力设计值(kN);

$A_p$ ——心方桩桩身横截面积(mm<sup>2</sup>);

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值(MPa);

$\psi_c$ ——工作条件系数,可取0.60。

4.3.7 空心方桩桩身轴向拉力设计值应符合下列规定:

$$N \leq f_{py} A_g \quad (4.3.7)$$

式中:  $N$ ——空心方桩桩身轴向拉力设计值(kN);

$f_{py}$ ——预应力钢筋的抗拉强度设计值(MPa);

$A_g$ ——预应力钢筋面积(mm<sup>2</sup>)。

4.3.8 基础的沉降允许值应符合现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的规定。其最终沉降量可根据需要采用如下方法进行计算:

1 基础最终沉降量可采用实体深基础单向压缩分层总和法按式(4.3.8-1)计算,地基内的应力分布宜采用多向同性均质线性变形体理论。

$$s = \psi_s S' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (Z_i \bar{a}_i - Z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \quad (4.3.8-1)$$

式中:  $s$ ——桩基最终沉降量(mm);

$S'$ ——按分层总和法计算出的沉降量(mm);

$\psi_s$ ——桩基沉降经验系数;

$n$ ——地基沉降计算深度范围内所划分的土层数;

$p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的桩端平面处的附加力(kPa);

$Z_i, Z_{i-1}$ ——桩端平面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离(m);

$\bar{a}_i, \bar{a}_{i-1}$ ——桩端平面计算点至第  $i$  层土,第  $i-1$  层土底面范围内平均附加应力系数,按现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)采用;

$E_{si}$ ——桩端平面下第  $i$  层土的压缩模量(MPa),应取土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的应力段计算。

2 基础最终沉降量亦可采用简化式计算:

$$s = \psi_s \frac{p_0 B_c}{E_s} \quad (4.3.8-2)$$

式中:  $\psi_s$ ——桩基沉降经验系数;

$p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的桩端平面处的附加压力(kPa);

$B_c$ ——承台宽度(m);

$E_s$ ——桩尖下土的平均压缩模量(MPa),按各土层厚度加权平均计算。

## 4.4 方桩连接和节点

### 4.4.1 空心方桩连接节点构造应符合下列要求:

1 任一单桩的接头数量不宜超过 2 个接头位置宜避开软硬土交界处, 严禁将单节桩截断后作为下节桩使用。空心方桩应采用焊接或机械连接方法接桩, 接头的抗弯性能不得低于空心方桩桩身的抗弯性能;

2 空心方桩可采用端头板焊筋或灌芯配筋的方法与承台连接, 连接计算应按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 有关规定进行; 焊接接头应符合《钢筋焊接及验收规范》(JGJ 18) 的有关规定; 焊筋或配筋直径可取  $\phi 14 \sim 22$ , 锚入承台长度不宜少于 35 倍钢筋直径, 并应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 的构造要求; 灌芯混凝土应进行插捣并保证灌注饱满, 混凝土强度等级不得低于 C30, 宜掺入适量的微膨胀剂;

3 空心方桩当需截桩时, 应采用灌芯配筋与承台连接, 灌芯混凝土强度等级应比承台高一级;

4 对于主要承受竖向压力的空心方桩, 当采用灌芯配筋与承台连接时, 桩顶灌芯深度不得小于  $(6 \sim 8)d$  且不得小于 3.5m;

5 对于同时承受水平力作用的抗弯空心方桩, 应采用灌芯配筋与承台连接, 桩顶灌芯深度不得小于  $(8 \sim 10)d$  且不小于 4.5m。

### 4.4.2 空心方桩作为抗拔桩使用时, 应符合下列规定:

1 应采用灌芯配筋与承台连接, 桩顶灌芯混凝土深度应通过现场灌芯抗拔试验确定, 但不得小于  $(8 \sim 10)d$  且不得小于 4.5m, 并满足下式要求:

$$N_c \leq R_{cb} \quad R_{ct} = Q_{ct}/2 \quad (4.4.2-1)$$

式中:  $N_c$ ——荷载效应标准组合时桩顶的轴心拉力设计值(kN);

$R_{ct}$ ——单桩竖向抗拔承载力特征值(kN);

$Q_{ct}$ ——按设计灌芯深度确定的灌芯混凝土从空心方桩中拔出的抗拔极限承载力(kN)。

### 2 桩顶灌芯混凝土中的配筋数量应满足下式要求:

$$A_s \geq N_c / f_y \quad (4.4.2-2)$$

式中:  $A_s$ ——空心方桩灌芯受拉钢筋面积( $\text{mm}^2$ );

$f_y$ ——钢筋的抗拉强度设计值(MPa)。



## 5 空心方桩制作、规格和质量要求

### 5.1 规格分类

5.1.1 空心方桩按桩身混凝土强度等级分为:预应力高强混凝土空心方桩(代号 PHS)、预应力混凝土空心方桩(代号 PS)和预应力混凝土薄壁空心方桩(代号 PTS)。

5.1.2 空心方桩按外边长主要分为 250mm、300mm、350mm、400mm、450mm、500mm、550mm、600mm 等规格。

5.1.3 空心方桩按抗弯性能或有效预压应力分为 A 型、AB 型和 B 型,其有效预压应力值分别介于(3.8~5.0)MPa、(5.0~7.0)MPa、(7.0~9.0)MPa 范围内。空心方桩的抗弯性能指标应符合附录 A 的规定。

5.1.4 预应力混凝土薄壁空心方桩主要承受纵向压力,其抗弯性能应满足吊运和堆放要求。

### 5.2 原材料要求

5.2.1 水泥应采用强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥,其质量应符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的要求。

5.2.2 骨料的粒径、细度模数及质量要求应符合《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685)、《建设用砂》(GB/T 14684)的规定。

5.2.3 钢材的质量应符合《预应力混凝土用钢棒》(GB/T 5223.3)、《预应力混凝土用钢丝》(GB/T 5223)、《低碳钢热轧圆盘条》(GB/T 701)、《混凝土用冷拔低碳钢丝》(JC/T 540)、《钢筋混凝土用热轧

带肋钢筋》(GB 1499)等的规定;端板及桩尖的材质宜符合 GB/T 700 的规定。端板厚度应由计算确定,最小厚度应符合表 5.2.3 的要求。

表 5.2.3 端板最小厚度

钢棒直径(mm)	7.1	9.0	10.7	12.6
端板最小厚度(mm)	16	18	20	22

5.2.4 螺旋筋宜采用冷拔低碳钢丝、钢筋混凝土用热轧光圆钢筋,其质量应分别符合 JC/T 540、GB 1499.1 的有关规定。

5.2.5 混凝土拌合用水的质量应符合《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63)的规定。

5.2.6 外加剂的质量应符合《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定。

5.2.7 掺合料不得对空心方桩产生有害影响,使用前必须进行试验验证。

### 5.3 桩身构造要求

5.3.1 空心方桩的预应力筋配置方式应遵循方形、对称、均匀的原则。

5.3.2 螺旋筋的直径不应小于表 5.3.2 的规定,骨架成型后各部分尺寸应符合下列要求:

- 1 预应力钢筋间距偏差不大于 $\pm 5\text{mm}$ ;
- 2 螺旋筋的螺距偏差不大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

表 5.3.2 螺旋筋最小直径

空心方桩边长(mm)	螺旋筋直径(mm)
250~400	4
450~600	5

5.3.3 空心方桩构造应符合《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)和《预应力混凝土空心方桩》(JG 197)的有关规定,其构造示意图参见附录B。

5.3.4 空心方桩端板的外边长以及宽度不应小于桩的设计外边长与设计宽度。空心方桩接头的焊缝坡口尺寸应按设计确定,焊条质量应满足《碳钢焊条》(GB/T 5117)的规定。

#### 5.4 产品质量要求

5.4.1 空心方桩的混凝土强度等级应符合下列要求:

1 PHS 混凝土强度等级不应低于 C80;

2 PS、PTS 混凝土强度等级不应低于 C60。

5.4.2 空心方桩各部位尺寸允许偏差应符合表 5.4.2-1 的规定,空心方桩的外观质量要求应符合表 5.4.2-2 的规定。

表 5.4.2-1 空心方桩的尺寸和保护层厚度的允许偏差

序号	项 目	允许偏差(mm)
1	桩长 L	+0.5%L -0.5%L
2	端部倾斜	≤0.5‰
3	外边长	+5 -4
4	内径	0 负偏差不限
5	保护层厚度	+10 0
6	桩身弯曲度	≤L/1000
7	端 板	外侧平面度 ≤1.5
		边 长 ±1
		内 径 ±2
		厚 度 正偏差不限 0

表 5.4.2-2 空心方桩的外观质量要求

序号	项 目	外 观 质 量 要 求
1	粘皮和麻面	局部粘皮和麻面累计面积≤桩身外表面积的 0.5%, 每处粘皮和麻面的深度≤5mm
2	桩身合缝漏浆	漏浆深度≤5mm, 每处漏浆长度≤300mm, 累计长度≤空心方桩长度的 10%, 或对称漏浆的搭接长度≤100mm
3	混凝土局部磕损	每处面积≤5000mm <sup>2</sup> , 混凝土局部磕损深度≤5mm
4	内外表面露筋	不允许
5	表面裂缝	不得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缝不在此限
6	桩端面平整度	端面混凝土和预应力钢筋锚头不得高出端板平面
7	断筋、脱头	不允许
8	内表面混凝土塌落	不允许
9	桩套箍(钢裙板)凹陷	PS、PHS 桩凹陷深度不大于 5mm, 每处面积不大于 25cm <sup>2</sup> , PTS 桩凹陷深度不大于 3mm, 每处面积不大于 16cm <sup>2</sup>
10	桩与端板结合面	漏浆 漏浆深度≤10mm, 漏浆长度≤桩横截面周长的 1/4, 每处漏浆长度≤30mm
		空洞和蜂窝 不允许

#### 5.4.3 空心方桩的最大桩节长度应符合表 5.4.3 规定。

表 5.4.3 空心方桩的桩节长度

桩型	外边长 (mm)	桩节长度(m)								
		7	8	9	10	11	12	13	14	15
PTS	250	○	○	○	○	○				
	300	○	○	○	○	○				
	350	○	○	○	○	○				
	400	○	○	○	○	○	○			
	450	○	○	○	○	○	○			
	500	○	○	○	○	○	○			
PS PHS	250	○	○	○	○	○	○			
	300	○	○	○	○	○	○			
	350	○	○	○	○	○	○	○		
	400	○	○	○	○	○	○	○	○	
	450	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	500	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	550	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	600	○	○	○	○	○	○	○	○	○

5.4.4 空心方桩的堆放、吊运应符合《先张法预应力离心混凝土空心方桩》(JC/T 2029)和《预应力混凝土空心方桩》(JG 197)标准的有关规定。

5.4.5 桩尖采用钢板制作,材料的机械性能不应低于 Q235 钢要求,桩尖制作和焊接应符合《建筑钢结构焊接技术规程》(JGJ 81)的要求。

5.4.6 空心方桩的混凝土强度必须达到设计强度后才允许出厂,常压养护应不少于 7 天龄期,高压蒸养应不少于 1 天龄期。

## 6 空心方桩桩基施工

### 6.1 一般规定

6.1.1 打桩机具应结合场地周围环境、土质条件、施工工艺、设计对单桩承载力要求和桩型要求等综合选取。施工现场应“三通一平”,满足桩机承重、运输和施工要求。

6.1.2 施工前应具备下列资料:

1 桩位布置图及设计说明、施工总平面图及设计交底、图纸会审记录;

2 场地工程地质资料及水文地质资料;

3 建筑场地和邻近区域内的现有建筑物(包括危房、精密仪器车间等)、地下管线及地下构筑物、地下障碍物等埋藏情况、施工现场上空的高压电线及通讯线路等的调查资料;

4 桩的质量证明报告;

5 施工组织设计;

6 试打资料。工程桩在施工前,宜根据地质条件在有代表性的位置进行试打,并经工艺试验成功后方可实施,试打桩不宜少于 3 根。

6.1.3 桩进场后应严格按 5.4 节有关质量要求进行验收。

6.1.4 桩的吊运及堆放应符合下列规定:

1 桩的吊运应符合下列规定:

1)空心方桩出厂前应检查其规格、批号、制作日期符合所属的验收批号内容;

2)空心方桩在吊运时宜采用两支点法或两头钩吊法,施工

现场吊运可采用单支点法；在吊运过程中应轻起轻放，严禁发生碰撞、滚落；

- 3) 空心方桩不宜在施工现场多次倒运，以免引起桩的破损；  
4) 严禁使用质量不合格及在吊运过程中产生裂缝的桩。

2 桩的堆放应符合下列规定：

- 1) 堆放场地应平整坚实，桩叠层堆放超过 2 层时，应用吊车取桩，严禁拖拉取桩；  
2) 应按不同规格、长度及施工流水顺序分别堆放；  
3) 场地条件许可时，宜单层堆放；叠层堆放时，不宜超过 4 层；  
4) 叠层堆放时，宜在垂直于空心方桩长度方向的地面上设置 2 道垫木，垫木应分别位于距桩端 0.2 倍桩长处；  
5) 垫木宜选用耐压的长木枋或枕木，不得用有棱角的金属构件替代。

6.1.5 桩位控制应符合下列规定：

- 1 桩点施放应根据桩位平面图、建筑红线和主要基轴线，用经纬仪定向、钢尺量距确定各桩位点，或采用全站仪定向及确距。点位误差精度：群桩小于 20mm，单排桩小于 10mm；

2 沉桩时桩机定位应准确、水平、稳固，确保在施工中不发生倾斜、移动。

6.1.6 施工顺序应符合下列规定：

- 1 对于桩的中心距小于 4 倍桩外边长的群桩基础，应由中间向外或向后退打；对于在软土地区锤击法施工桩的中心距小于 4 倍桩径的排桩，或群桩基础的同一承台的桩，宜采取跳打或对角线打的施工措施；

2 多桩承台边缘的桩宜待承台内其他桩施工完并重新测定

桩位后再施工；

3 对于一侧靠近现有建(构)筑物的场地，宜从毗邻建(构)筑物的一侧开始由近至远端施工；

4 同一场地桩长差异较大或桩边长不同时，宜遵循先长后短、先大后小的施工顺序；

5 对于有基坑围护结构的工程，宜先施工工程桩(空心方桩)，后施工围护桩。

6.1.7 沉桩的控制深度应根据地质条件、贯入度(压桩力)和设计桩长(标高)等因素综合确定。当桩端持力层为黏性土时，应以标高控制为主，贯入度(压桩力)控制为辅；当桩端持力层为密实砂性土时，应以贯入度(压桩力)控制为主，标高控制为辅。

6.1.8 送桩器设置应符合下列规定：

- 1 送桩器应有足够的强度、刚度、和耐打性；  
2 送桩器端面应平整，且与送桩器中心轴线相垂直；  
3 送桩器下端面应开孔，使桩内腔与外界连通；  
4 对于静压法沉桩，送桩器侧面应平整，便于夹持器抱紧；  
5 送桩器应与桩匹配，对于静压法沉桩，送桩器应做成正方型，其截面尺寸与桩外边长的误差不宜超过 10mm。对于锤击法沉桩，套筒式送桩器应做成正方型，下端的套筒深度宜取(250~350)mm，内边长应比桩边长大(20~30)mm；插销式送桩器应做成圆型，下端的插销长度宜取(200~300)mm，外径应比桩内径小(20~30)mm。对于内孔存有余浆的空心方桩，不宜采用插销式送桩器。

6.1.9 桩尖有开口型钢桩尖和闭口型钢桩尖，具体选用应根据地质条件和沉桩情况等综合确定。

6.1.10 桩基施工不能影响附近建(构)筑物的正常使用和安全，必要时应采取有效的防震、防侧向挤土等措施。

#### 6.1.11 接桩与连接应符合下列规定:

- 1 当桩需要接长时,其入土部分桩段的桩头宜高出地面(0.5~1.0)m;桩的连接采用端板焊接和机械连接两种方法;
- 2 下节桩的桩头处宜设导向箍以方便上节桩就位,接桩时上下节桩段应保持顺直,错位偏差不得大于2mm;
- 3 采用端板焊接法连接时,应符合下列规定:
  - 1)桩对接前,上下端板表面应用铁刷子清理干净,坡口处应刷至露出金属光泽,上下节桩之间的间隙,应用铁板填实焊牢;
  - 2)接桩焊接应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18)的有关规定;
  - 3)焊接材料的型号、质量应符合设计要求并附有出厂合格证明书、复试报告;
  - 4)焊接时宜先在坡口周围上每边对称点焊(2~3)点,待上下桩节固定后再分层施焊,施焊应由两个焊工对角焊接;
  - 5)焊接层数不得少于三层,内层焊必须清理干净后方可进行施焊外一层;焊缝应饱满连续,不得有任何裂缝或缺焊等;焊接接桩应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)二级焊缝的要求;
  - 6)应在焊接好的接头自然冷却后方可继续沉桩,冷却时间不宜少于8min;严禁用水冷却或焊好即沉桩施工。
- 4 采用机械连接时,应符合下列规定:
  - 1)桩对接前应检查桩两端制作的尺寸偏差及连接件,无受损后方可起吊施工;
  - 2)接桩时,卸下上下节桩两端的保护装置后,应清理接头残物,涂上润滑脂;

- 3)应采用专用接头锥度对中,对准上下节桩进行旋紧连接;
- 4)可采用专用链条式扳手进行旋紧,锁紧后两端板间尚应有(1~2)mm的间隙。

#### 6.1.12 遇下列特殊情况之一应暂停打桩,并及时与设计、监理等有关人员研究处理:

- 1 压桩力(贯入度)突变;
- 2 沉桩入土深度或压桩力(贯入度)与设计要求差异较大;
- 3 桩头混凝土剥落、破碎,或桩身混凝土出现裂缝或破碎;
- 4 桩身突然倾斜、跑位;
- 5 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大;
- 6 压桩不到位,或总锤击数超过规定值。

#### 6.1.13 对于挤土沉桩,宜采取消减超孔隙水压力、控制沉桩速率等措施。

#### 6.1.14 空心方桩工程的基坑开挖应符合下列规定:

- 1 应制定合理的基坑开挖方案和施工顺序,注意保持基坑围护结构或边坡土体的稳定;
- 2 开挖基坑时,应采取有效措施分层、分片对称开挖,防止开挖和坑边堆土造成空心方桩侧移、倾斜和挤断桩;
- 3 有效桩顶标高以上至少0.3m严禁用机械开挖,必须采用人工开挖,严禁扰动桩间地土及碰断桩头。

#### 6.1.15 空心方桩不宜截桩。截桩严禁使用大锤硬砸,应采用锯桩机进行截桩。

#### 6.1.16 沉桩完成后应对桩头高出地表部分进行妥善保护,并及时将孔洞填平。

#### 6.1.17 空心方桩试桩的休止期应符合《建筑基桩检测技术规程》(DB29-38)的规定。

## 6.2 静压法沉桩

6.2.1 静液压桩机一般采用液压式动力装置,按其加力部位的不同可分为顶压式液压压桩机和抱压式压桩机。静压桩机的选取应符合下列规定:

1 施工前应结合单桩承载力要求、地层情况、场地情况、桩径及对垂直度要求等合理选取机型和配重;

2 液压式压桩机和配重的重量应满足压桩力的要求,并预留适当的储备系数;

3 静压桩机对场地要求较高,要求处理后的场地浅部土层承载力不宜低于 100kPa;

4 夹持器表面应平整,对面夹板应与桩轴线平行且相对应,夹板运行速率应一致。

6.2.2 最大压桩力值不宜超过允许抱压压桩力的 1.1 倍,抱压力不应大于桩身允许侧向压力的 1.1 倍,防止对桩造成破坏。

6.2.3 压桩施工应符合下列规定:

### 1 桩机就位

1) 在桩位复核无误后,桩机按照规定的打桩顺序就位;

2) 如果施工现场地基较软,应考虑进行处理或采用路基箱,以保证就位和桩机的平稳。

### 2 喂桩

1) 选用吊车将桩送至距桩机距离的适当位置,摆放平顺,保证桩机起吊方便;

2) 在喂桩过程中,确保安全、平稳,防止桩体磕碰损伤、伤人和伤机;

3) 喂桩前,要仔细检查,确保所使用桩的质量、型号准确

无误。

### 3 桩对位、调直

1) 直接将桩吊入井口,用夹持器将桩抱紧。将桩尖对准桩位插入,第一节桩起吊就位插入地面时的垂直度偏差不得大于 0.5%,必要时宜拔出重插;

2) 应采用经纬仪或线坠等方法观测桩体的垂直度,并在压桩过程中跟踪观察,随时调整垂直度偏差。

### 4 压桩

1) 在确认桩位准确无误后,方可加压使桩体连续下沉,软土层中的沉桩速率不宜超过 3.0m/min,硬土层中的沉桩速率不宜超过 1.5m/min;

2) 在压桩过程中,当遇到压力值急剧增加,桩体突然发生倾斜、移位,桩顶或桩体出现严重裂缝、破碎等情况时,应暂停压桩,并分析原因,采取相应措施;

3) 在压桩过程中准确记录沉桩过程中的各种情况和变化,详细记录沉桩的压力读数、压桩时间和桩位编号及桩的质量情况;

4) 用送桩器将桩送到设计标高;

5) 详细记录每一行程的压力值。

5 压桩结束后,将桩机移到下一桩位处,目测观察桩的平面位置偏差。

6.2.4 空心方桩进入持力层但不能达到设计标高时,可根据设计要求或试桩情况按最终压桩力进行控制。

6.2.5 引孔压桩法应符合下列规定:

1 引孔宜采用高压旋喷法或螺旋钻干作业法;高压旋喷法可对粉土、砂土等硬土层段采用高压旋喷喷射清水或水泥浆引孔,

螺旋钻干作业法应穿透粉土、砂土等硬土层段；引孔的垂直度偏差  
不宜大于 0.5%；

2 引孔作业和压桩作业应连续进行，间隔时间不宜大于 12h；  
引孔中有积水时，宜用开口型桩尖；

3 螺旋钻引孔的孔径应小于空心方桩对角线至少 100 mm；

4 引孔压桩法施工的空心方桩试桩休止期应适当延长。

6.2.6 当桩较密集或土层为厚层饱和淤泥质土时，压桩施工过程  
应对桩设置上浮和水平偏位观测点，定时监测桩的上浮量及桩顶  
偏位值。

### 6.3 锤击法沉桩

6.3.1 锤击法打桩机具应合理选择锤重、桩帽和垫层；打桩机的  
机架必须具有足够的强度、刚度和稳定性，应与所挂锤重相匹  
配；施工现场应配备必要的电气焊、铅坠、水准仪、经纬仪等施  
工用具。

6.3.2 桩帽与桩垫的设置应符合下列规定：

1 桩帽应具有足够的强度、刚度和耐打性；

2 打桩时桩帽和桩锤之间、桩帽与桩头之间、送桩器与桩头  
之间必须设置桩垫，桩垫宜选用胶皮垫、布轮、棕绳等弹性较好  
的材料，其厚度宜取(150~200)mm。在打桩期间应经常检查，及  
时更换或补充。

6.3.3 沉桩施工应符合下列规定：

1 桩机就位

1)在桩位复核无误后，桩机按照规定的打桩顺序就位；

2)如果施工场地基较软，应考虑进行处理或采用路基箱，

以保证就位和桩机的平稳。

2 喂桩

1)选用吊车将桩送至距桩机距离的适当位置，摆放平顺，  
保证桩机起吊方便；

2)在喂桩过程中，确保安全、平稳，防止桩体磕碰损伤、  
伤人和伤机；

3)喂桩前，要仔细检查，确保所使用桩的质量、型号准确  
无误。

3 桩对位、调直

1)桩头送入桩帽内后，桩体连同桩帽一起吊起。将桩尖对  
准桩位插入，第一节桩起吊就位插入地面时的垂直度偏  
差不得大于 0.5%，必要时宜拔出重插；

2)应采用经纬仪观测桩体的垂直度，当桩身倾斜率超过  
1.0%时，应找出原因并设法纠正；当桩尖进入硬土层后，  
严禁用移动机架等强行回扳的方法纠偏。

4 锤击沉桩应符合下列规定：

1)应确保桩锤、桩帽(或送桩帽)和桩身在同一中心线上；

2)宜重锤轻击，尽可能避免在接近设计深度或较硬土层中  
进行接桩；

3)用送桩器将桩送到设计标高；

4)应详细记录每米的锤击数。

5 锤击沉桩结束后，将桩机移到下一桩位处，目测观察桩的  
平面位置偏差。

6.3.4 空心方桩施工时应控制每根桩的总锤击数和最后 1m 沉  
桩锤击数。

6.3.5 贯入度的控制标准应符合下列规定：

1 贯入度必须严格按照设计要求控制,或根据试桩时的确定值执行;

2 空心方桩进入持力层但不能达到设计标高时,可按贯入度进行控制,连续三阵的每阵(10 击)贯入深度不宜大于 20mm。

## 7 质量检查与验收

### 7.1 一般规定

7.1.1 空心方桩质量检查与验收包括空心方桩质量检查、单桩承载力 and 桩身完整性检测、空心方桩基础工程验收。

7.1.2 空心方桩质量检查与验收应符合现行《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202) 和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的有关规定。

7.1.3 单桩承载力和桩身完整性检测方法及要求应符合现行《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106)、《建筑基桩检测技术规程》(DB 29-38)的有关规定。

7.1.4 空心方桩检测数量的确定应以单位工程同条件下的基桩总数为计算依据,对使用不同规格类型基桩的单位工程应按不同规格类型的基桩数量分别确定检测桩数。

7.1.5 单桩承载力和桩身完整性检测抽样应在综合考虑设计要求、施工情况、地质条件及异常情况等因素的基础上进行抽检,检测抽样选择应遵循以下原则:

- 1 选择施工质量有问题或有疑问的基桩;
- 2 选择结构受力较大或荷载差异较大部位的基桩;
- 3 选择地基土工程性能较差部位或土层变化复杂地段的基桩;

4 选择不同施工工艺以及不同机台施工的基桩;

5 随机抽样,基本均匀分布。

7.1.6 为设计提供依据和施工验收的静载荷试验应分别符合下



列规定:

1 竖向抗压静载试验:为设计提供依据的试验桩应加载至破坏状态,当桩的承载力以桩身强度控制时,可按设计要求的加载量进行。工程桩验收检测时,加载量不应小于单桩竖向承载力特征值的2.0倍;

2 竖向抗拔静载试验:为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧土破坏或桩身材料达到设计强度。工程桩验收检测时,可按设计要求确定最大加载量;

3 水平静载试验:为设计提供依据的试验桩宜加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏。工程桩验收检测时,可按设计要求的水平位移允许值控制加载。

7.1.7 在静载荷试验前后宜用低应变反射波法检测试桩的桩身完整性,用于对试验结果的辅助分析评价。

## 7.2 桩质量检查

7.2.1 空心方桩进入施工现场后,应进行下列质量检查:

1 对所有空心方桩的规格、型号、尺寸及偏差、外观质量及桩身破损情况等进行全面检查,不符合要求的桩禁止使用;

2 对每个厂家生产的每一种桩型随机抽取一节空心方桩进行破坏性检测,检测项目为预应力钢筋的抗拉强度、钢筋数量、钢筋直径、钢筋布置、端板材质及厚度、尺寸偏差、外观质量、钢筋保护层厚度等。当抽检结果出现不符合质量要求时,应加倍监测,若再发现不符合的桩节,该批空心方桩不准使用并必须撤离现场。未经抽检不得施工工程桩;

3 对闭口桩尖的钢板厚度、桩尖尺寸、焊缝质量等进行检测,

其检测数量应不少于总桩尖数量的1%,且不少于3个。

7.2.2 空心方桩沉桩质量检查包括桩身垂直度、桩顶标高、桩位偏差,并应符合下列规定:

- 1 桩身垂直度允许偏差不应大于1%;
- 2 按标高控制的桩,桩顶标高允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ;
- 3 桩顶平面位置偏差应符合表7.2.1的规定。

表 7.2.1 空心方桩的桩位允许偏差

项 目	允许偏差值 (mm)
柱下单桩	80
单排或双排条形桩基	
①垂直于条形桩基纵向轴的桩	100
②平行于条形桩基纵向轴的桩	150
承台内桩数为2~4根的桩	100
承台内桩数为5~16根的桩	
①周边桩	100
②中间桩	150
承台内桩数多于16根的桩	
①周边桩	150或1/3边长
②中间桩	200或1/2边长

注:承台内桩数多于16根桩的桩位允许偏差取表中允许值的小值。

7.2.3 施工过程中应采用灯光照射目测或孔内摄影检查桩身质量,观察孔内是否进土、渗水、有无明显破损、错位、挠曲现象,并作出详细记录。

7.2.4 对于重要建筑物采用锤击法沉桩时,宜采用高应变法进行试打桩的打桩过程监测:

- 1 控制打桩过程中的桩身内力;
- 2 选择沉桩设备和确定工艺参数;

### 3 选择桩端持力层。

### 7.2.5 多节桩施工过程中可采用探伤测试法检查接头焊接质量。

## 7.3 单桩承载力和桩身完整性检测

### 7.3.1 空心方桩基础的工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性检测。

### 7.3.2 空心方桩基础工程的单桩承载力检测应符合下列规定：

- 1 检测方法宜采用静载荷试验；
- 2 静载荷试验宜采用堆载法进行。若采用锚桩法进行时，应对锚桩进行配筋灌芯处理，并验算配筋灌芯部位的强度；
- 3 当试验桩经过截桩时，试桩顶部应采取有效加固措施；
- 4 采用静载荷试验进行承载力检测的单桩应先进行低应变完整性测试。

### 7.3.3 空心方桩基础工程当符合下列条件之一时，应采用静载试验方法进行设计所需的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力、单桩水平承载力验收检测，抽检桩数不应少于总桩数的1%，且不少于3根。

- 1 设计等级为甲级、乙级空心方桩基础；
- 2 地质条件复杂、施工质量可靠性低的空心方桩基础；
- 3 明显产生挤土效应的大面积空心方桩基础。

### 7.3.4 对7.3.3条规定条件外的工程桩，当有本地区相近条件的对比验证资料或有本场地试桩静动对比资料时，可采用高应变法进行单桩竖向抗压承载力验收检测，抽检桩数不应少于总桩数的2%，且不得少于6根。

### 7.3.5 工程桩桩身完整性检测应符合下列规定：

- 1 工程桩桩身完整性验收检测宜采用低应变法和高应变法；
  - 2 低应变法检测桩数不应少于总桩数的20%，且不得少于10根，柱下三桩或三桩以下的承台抽检桩数不得少于1根；对于单节桩桩身完整性检测要求比例可根据施工情况适当减低，但检测桩数不应少于总桩数的10%，且不得少于10根；
  - 3 桩身完整性检测应在基坑开挖至基底标高后进行；
  - 4 低应变反射方法宜在空心方桩桩顶的不同方向分别进行敲击、接收试验，并对比其信号一致性；
  - 5 用低应变方法测试曲线判断两节及多节空心方桩桩身完整性类别时，应区分桩身和接桩部位两种不同情况。
- ### 7.3.6 对于空心方桩桩基设计等级为甲级的建筑物，或两节以上的工程桩应进行高应变法检测，检测数量不应少于总桩数的2%，且不得少于6根。
- ### 7.3.7 当检测发现单桩承载力及桩身完整性不满足相应要求时，应分析原因，必要时进行扩大检测；对Ⅲ类桩宜采用其他检测方法进行核验。
- ### 7.3.8 Ⅲ、Ⅳ类桩均为不合格桩，应进行工程处理。当桩身完整性检测发现Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于检测桩数的20%时，应对全部工程桩进行检测。

## 7.4 空心方桩桩基工程验收

### 7.4.1 空心方桩桩基工程验收应符合下列规定：

- 1 当桩顶设计标高与施工现场标高基本一致时，可待全部空心方桩施工完毕后进行竣工验收，并绘制打桩工程竣工图；
- 2 当需要送桩一定深度时，待全部空心方桩施工完毕并开挖

到设计标高后, 再进行竣工验收, 并绘制打桩工程竣工图。

7.4.2 空心方桩桩基工程竣工验收时, 应具备下列文件和资料:

- 1 桩基设计文件和施工图, 包括图纸会审纪要、设计变更等;
- 2 桩位测量放线图, 包括工程基线复核签证单;
- 3 场地岩土工程勘察报告;
- 4 经审定的施工组织设计或施工方案, 包括施工中的变更文件及资料;
- 5 空心方桩(水泥、钢筋)出厂合格证及空心方桩技术性能资料(产品说明书);
- 6 打桩机或静压桩机的合格证书及相关性能参数, 静压桩机压力表标定证书, 施工测量仪器的检定证书;
- 7 空心方桩施工原始记录汇总, 包括空心方桩施工原始记录表、桩位编号图、现场绘制的空心方桩收锤回弹曲线或压力—深度曲线图;
- 8 沉桩质量检查报告;
- 9 桩基工程检测报告;
- 10 质量事故处理资料;
- 11 其他必须提供的文件和记录。

## 附录 A 预应力混凝土空心方桩抗弯性能表

表 A 空心方桩抗弯性能表

桩型	外边长 (mm)	内径 (mm)	型号	配筋率 (%)	抗弯弯矩 (kN·m)	极限弯矩 (kN·m)
PHS	250	120	A	0.50	22	35
	250	120	AB	0.70	26	50
	300	120	A	0.53	39	55
	300	120	AB	0.65	43	68
	300	120	B	0.91	52	95
	350	160	A	0.50	60	83
	350	160	AB	0.70	71	116
	350	160	B	0.98	85	161
	400	210	A	0.53	90	130
	400	210	AB	0.61	96	148
	400	210	B	0.86	119	208
	450	260	A	0.51	123	173
	450	260	AB	0.72	146	243
	450	260	B	1.00	175	336
	500	310	A	0.50	163	223
	500	310	AB	0.62	181	276
	500	310	B	0.86	215	384
	550	350	A	0.50	214	294
	550	350	AB	0.70	253	414
	550	350	B	0.97	303	574
	600	400	A	0.55	284	408
	600	400	AB	0.77	338	573
	600	400	B	1.07	406	785

续表 A

桩型	外边长 (mm)	内径 (mm)	型号	配筋率 (%)	抗裂弯矩 (kN·m)	极限弯矩 (kN·m)
PS	250	120	A	0.50	20	35
	250	120	AB	0.70	24	50
	300	120	A	0.53	37	55
	300	120	AB	0.65	42	68
	300	120	B	0.91	50	95
	350	160	A	0.50	57	83
	350	160	AB	0.70	68	116
	350	160	B	0.98	82	161
	400	210	A	0.53	86	130
	400	210	AB	0.61	93	148
	400	210	B	0.86	115	208
	450	260	A	0.51	118	173
	450	260	AB	0.72	141	243
	450	260	B	1.00	169	331
	500	310	A	0.50	156	223
	500	310	AB	0.62	174	276
	500	310	B	0.86	208	384
	550	350	A	0.50	205	294
	550	350	AB	0.70	244	414
	550	350	B	0.97	293	558
	600	400	A	0.55	272	408
	600	400	AB	0.77	326	573
	600	400	B	1.07	393	753

附录 B 预应力混凝土空心方桩构造示意图

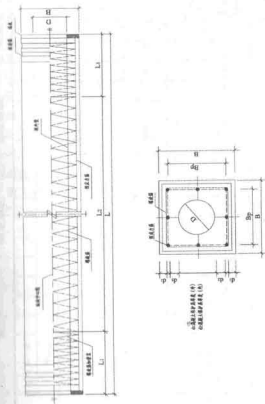


图 B 空心方桩构造示意图

# 附录 C 预应力混凝土空心方桩施工记录表

表 C 空心方桩(静压、锤击)施工记录表

工程名称			空心方桩规格															桩顶标高(m)					
桩机型号及规格			静压桩机型号及压力换算系数															接桩形式					
日期	序号	桩号	送桩深度	桩节顺序	节长	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	最大压力值(kN)	接头检查	备注
					第一节																		
					第二节																		
					第一节																		
					第二节																		
					第一节																		
					第二节																		
					第一节																		
					第二节																		

记录员:

机长:

技术负责:

项目经理:

现场监理:

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词,说明如下:

1)表示很严格,非这样不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先这样做的:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”。

表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明必须按其他有关标准、规范的规定执行时,写法为“应符合.....的规定”或“应按.....执行”。非必须按照所指定的标准、规范(或其他规定)执行的,其写法为“可参照.....”。

## 本规程引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007;
- 2 《建筑抗震设计规范》GB 50011;
- 3 《混凝土结构设计规范》GB 50010;
- 4 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202;
- 5 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204;
- 6 《建筑桩基技术规范》JGJ 94;
- 7 《预应力混凝土空心方桩》JG 197;
- 8 《钢筋焊接及验收规范》JGJ 18;
- 9 《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81;
- 10 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106;
- 11 《预应力离心混凝土空心方桩》JC/T 2029;
- 12 《建筑基桩检测技术规程》DB 29-38;
- 13 《通用硅酸盐水泥》GB 175;
- 14 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685;
- 15 《建设用砂》GB/T 14684;
- 16 《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3;
- 17 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223;
- 18 《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701;
- 19 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499;
- 20 《混凝土外加剂》GB 8076;
- 21 《碳素结构钢》GB/T 700;
- 22 《碳钢焊条》GB/T 5117;
- 23 《混凝土拌合用水标准》JGJ 63;
- 24 《混凝土用冷拔低碳钢丝》JC/T 540。

天津市工程建设标准

## 预应力混凝土空心方桩 技术规程

DB29-213-2012  
J12113-2012

### 条文说明

2012年 天津

## 目 次

### 制订说明

本规程制订过程中,编制组进行了广泛而深入的调查研究,总结了我市预应力混凝土空心方桩工程勘察、设计、施工及监测等方面的实际工程经验,同时参考了国家、行业和外省市先进技术法规、技术标准制订了本标准。

为便于广大勘察、设计、施工、科研等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定,《预应力混凝土空心方桩》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的理由做了解释。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则 .....	52
3 基本规定 .....	53
3.1 一般规定 .....	53
3.2 桩的类型与布置 .....	56
3.3 勘察要求 .....	57
4 空心方桩桩基设计 .....	59
4.1 一般规定 .....	59
4.2 经验参数法估算单桩承载力 .....	60
4.3 桩基计算 .....	64
4.4 空心方桩连接和节点 .....	69
5 空心方桩制作、规格和质量要求 .....	70
5.1 规格分类 .....	70
5.3 桩身构造要求 .....	70
5.4 产品质量要求 .....	71
6 空心方桩桩基施工 .....	74
6.1 一般规定 .....	74
6.2 静压法沉桩 .....	78
6.3 锤击法沉桩 .....	82
7 质量检查与验收 .....	86
7.1 一般规定 .....	86
7.2 桩质量检查 .....	87
7.3 单桩承载力和桩身完整性检测 .....	87
7.4 空心方桩桩基工程验收 .....	91

## 1 总 则

1.0.2 本规程适用于空心方桩勘察、设计、制桩、施工、检查与验收,且均有较明确的规定,实施时应予以遵守和执行。

1.0.3 空心方桩是否能实现其预定功能,并做到技术先进、经济合理,完全取决于设计与施工质量。设计中应综合考虑的因素主要有:地质条件、建筑结构、荷载特征、工程性质、施工技术条件及场地周围环境、检测条件等。

1.0.4 在本规定中对未作规定的事项,应按现行国家和天津市有关标准的规定执行。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 从上世纪 50 年代开始,钢筋混凝土预制实心方桩是桩基的一种主要形式。80 年代开始,随着各类高层建筑不断兴建,预制桩使用范围逐渐增大,长桩逐渐增多,开始应用于宾馆、写字楼、高层住宅楼等,长桩有效的提高了单桩承载力,减少了建筑物沉降,取得显著的社会经济效益,使桩基础有了很大的发展。预制方桩可以分节制造,在工厂或施工现场预制,运输、堆放均较方便,由于桩身质量控制较为可靠,承载力较高,耐久性较好,施工便利,工期短,因此,很长一段时间内,钢筋混凝土预制桩占据主导地位。近年来,随着制桩工艺的不断发展,预制钢筋混凝土实心方桩通过采用预应力钢筋、离心等工艺制作,形成了预应力混凝土空心方桩,其单桩竖向承载力特征值与普通实心钢筋混凝土方桩相同,但桩身自重减轻,可节约钢筋与砼用量,降低运输费,比同等规格的实心桩降低造价 20% 以上。

预应力混凝土空心方桩具有很多优点,但受自身特点的限制,有一定的适用范围和适用条件,因此,当采用空心方桩作为桩基础时,必须遵从本规程所列适用范围和适用条件。

1 本规程对建筑物使用空心方桩桩基的适用范围进行了明确的规定。

2 软土是指天然孔隙比  $e \geq 1.0$ , 且天然含水量大于液限的细颗粒土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。本条所指的厚层软土主要指滨海地区分布的厚层软土,厚度从桩顶算起(即桩身范围内),但应对承台周围的软土进行适当的处理;对于市区



海相层及古河道中局部分布的厚层淤泥质土应酌情考虑。

3 地下室必须是完整的地下室,必须具有一定的埋深以增强基础的水平抗力;半地下室不符合本规程的地下室范围。

4 由于地下水、土对桩身有腐蚀性的处理问题很复杂,且防腐效果尚无法验证,本次规程未涉及该问题,但对于地下水、土对桩身有腐蚀性的场地,其防腐措施应按照《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB 50046)要求执行为宜。

5 根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011)要求,预应力空心桩预应力筋最小保护层厚度不小于 35mm,保护层厚度为 25mm 的桩型不满足要求,不能用于建筑桩基础,只能应用于复合地基处理或地面处理等。

3.1.2 空心方桩桩基的设计等级系结合空心方桩的适用范围并按桩基损坏造成建筑物破坏的后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响)的严重性,采用三级划分。对于有纪念意义的或供群众性集会的民用建筑、经济意义重大的工业建筑物也应列入重要建筑物。

3.1.3 空心方桩桩边长一般不大,长径比(桩长与桩边长的比值)不宜过大,根据最小桩间距及天津市实际施工及使用经验,一般情况下长径比不应大于 80,对于桩身露出地面或桩侧为可液化土、土的不排水剪切强度小于 10kPa 且长径比大于 50 等几种不利情况下的桩应进行桩身压缩验算。

空心方桩作为抗拔桩和抗水平力桩使用时,应根据桩基所处的环境类别和相应的裂缝控制等级进行空心方桩的抗裂验算。对于非腐蚀环境,桩身裂缝控制等级可按二级进行验算;对于腐蚀环境,桩身裂缝控制等级应按一级进行验算。

3.1.4 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)第 5.1.2 条规定,建筑抗

震有利地段可不进行抗震验算,天津地区除蓟县山区局部符合外,其它地区处于抗震的一般地段和不利地段,应按现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011)及《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)的有关规定进行竖向及水平抗震承载力验算。

3.1.5 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)第 3.4.6 条对桩基的抗震设计原则做了明确规定,空心方桩抗震设计应严格执行该条规定。考虑到地震荷载作用下预应力混凝土空心方桩的抗弯及抗剪性能比实心混凝土桩有一定的差异,规定对于抗震设防烈度 8 度地区及高层建筑空心方桩基础宜采用高强预应力混凝土空心方桩(PHS 桩);在厚层软土地区,在抗震设防烈度为 8 度时,不宜采用预应力混凝土空心方桩,只有在充分进行水平力试桩及水平力验算通过后才可考虑使用。大量的工程实践经验证明,承台底面与侧面的抗力是抵抗水平地震力的有效部分,对于底面面积、侧面面积及埋深较大的承台,提高承台底面与侧面土体的密实度和强度,其抵抗水平力的效果往往比单纯加大桩身抗侧移刚度更为显著。工程实践中,可采用对承台外围土进行换填与压实等措施提高空心方桩基础的水平抗震承载力。

3.1.6 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)等相关规范对于桩基础进行沉降计算的范围要求及沉降允许值都给于明确规定,本条根据预应力空心方桩的特性规定了进行沉降计算的最小范围,设计时应根据空心方桩桩基的设计等级及长期荷载作用下桩基变形对上部结构的影响程度,对设计等级为甲级、体形复杂、荷载分布不均匀或桩端以下存在软弱土层的乙级及对周围建筑物及设施有不利影响的大面积地面堆载空心方桩桩基进行沉降计算,必要时应进行倾斜计算。

3.1.7 本条规定在进行桩基设计时,应考虑桩的挤土效应、开挖

基坑及挖土顺序和控制分层开挖厚度、深厚软土地施工大面积密集桩等对桩基础产生的不良影响,这些都是软土地区桩基实践中易于引起工程质量事故或工程纠纷的设计与施工问题。为使设计和施工人员注意这些问题,认真做好施工组织设计及相应的应变措施,以减少工程质量事故,本条作了原则的规定。

### 3.2 桩的类型与布置

3.2.1 一旦确定采用空心方桩作为桩基础后,合理地选择桩类和桩型是桩基设计中的重要环节。按承载性状分类,是指桩在受力状态下,按桩的抗力性能和工作机理进行分类。不同承载性状的桩基,有不同的构造要求和不同的计算内容。

1 竖向抗压桩:主要承受竖向压荷载(简称竖向荷载)的桩,应进行竖向承载力计算,必要时,还需计算桩基沉降、验算软弱下卧层的承载力以及负摩阻力产生的下拉荷载;

2 竖向抗拔桩:主要承受竖向拔荷载的桩,应进行桩身强度和抗裂计算以及抗拔承载力验算,且应对抗拔措施进行试验验证;

3 水平受荷桩:主要承受水平荷载的桩,应进行桩身强度和抗裂验算以及水平承载力和位移验算。

3.2.2 大量工程实践表明,沉桩挤土效应对桩的承载力、沉桩质量控制、环境等有很大影响,因此,根据沉桩方法和沉桩过程的挤土效应,将桩分为部分挤土桩和挤土桩两类。在饱和软土中设置挤土桩,如设计和施工不当,就会产生明显的挤土效应,导致地面隆起、桩上涌和移位甚至断裂,从而降低桩的承载力,有时还会损坏邻近建筑物;桩基施工后,还可能因饱和软土中孔隙水压力消散,土层产生再固结沉降,使桩产生负摩阻力,降低桩基

承载力,增大桩基沉降。

3.2.3 桩的布置原则主要应考虑桩的中心距、桩的合理排列以及桩端进入持力层的深度等因素。经验证明,桩的合理布置对发挥桩的承载力、减少建筑物的沉降,特别是不均匀沉降是至关重要的。为了避免桩基施工可能引起土的松弛效应和挤土效应对相邻桩基的不利影响,以及群桩效应对桩基承载力的不利影响,布桩时应该根据土类和沉桩工艺及排列确定桩的最小中心距。空心方桩虽开口,沉桩时一部分土挤入桩管内,但仍属挤土桩,布桩过密时,在软土地区沉桩施工后出现桩上浮、地面隆起现象,故设计时应注意沉桩挤土问题。因此规定,当排数不少于3排且桩数不少于9根时,对于部分挤土桩,不应小于 $4.0d$ ;对于挤土桩,规定桩最小间距不应小于 $4.5d$ ;对于穿越饱和软土的挤土桩,要求桩中心距最大,而对于大面积的群桩,桩的最小中心距宜适当加大。对于桩的排数为 $(1\sim 2)$ 排,桩数小于9根的其他情况的摩擦型桩基,桩的挤土效应不太明显,桩的最小中心距可适当减小。

另外,软土中桩基宜选择低压缩性土层作为桩端持力层,这是多年来软土地区桩基实践的成功经验,也是桩基建筑物沉降小且均匀并能满足承载力要求的最基本条件之一。

### 3.3 勘察要求

3.3.1 桩端持力层厚度、强度变化对空心方桩基础影响很大,勘探点应根据工程地质条件的复杂程度和持力层的分布均匀性进行布置,简单地质条件下勘探点的间距可大些,但应保证揭露场地的工程地质条件与特征;复杂地质条件下应适当加密勘探点。

3.3.2 当桩端持力层为较密实的粉土、砂土层时,空心方桩的端阻现象很明显,对桩的单桩极限承载力影响很大,本条强调工程

勘察应采用多种手段综合评价,特别是采用静力触探、标准贯入试验等原位测试方法定量评价地基土物理、力学特性。另外,桩端持力层优先选择较硬土层或较密实的粉土、粉砂层,有利于提高单桩承载力、降低桩基造价,减少建筑物的沉降。

3.3.3 在进行空心方桩适用性评价时,应对空心方桩沉桩可能性、挤土效应、基坑开挖、周围环境影响等综合评价,忽视哪一种都有可能对设计和施工产生不良后果。

## 4 空心方桩桩基设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 桩基础设计除本规程提出的规定外,尚应遵守《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010)和行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)等现行规范的规定。特别强调的是,空心方桩桩身结构水平承载能力相对较小,在水平荷载作用下具有脆性破坏的特点,必要时可采取相应的构造措施提高空心方桩桩身结构水平承载能力。根据天津地区的经验,在水平力作用下,最大弯矩一般发生在桩顶以下5倍桩边长左右,桩顶以下10倍桩边长处变得较小,灌芯深度以桩顶以下(8~10)倍桩边长为宜。

4.1.2 配筋率是对预应力混凝土空心方桩桩身配筋的基本要求,本规程根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011)的规定,确定其最小配筋率不宜低于0.5%。鉴于目前预应力空心桩水平承载力与竖向承载力的比例较低,应该加强该种基桩的构造以提高水平承载力,加大配筋率是提高抗弯承载力的有效方法。

4.1.4 选桩的型号一方面应根据设计单桩承载力确定,同时应考虑沉桩穿透粉土、砂性土层的厚度大小。厚度较大时,需采用合理的沉桩施工方式,如锤击法沉桩较静压法沉桩穿越硬土能力强;同时需考虑选用桩身强度较高的桩,PHS桩桩身强度较高,穿透硬土层能力强,一般能穿透密实粉土、砂土(2.0~3.0)m;PS桩桩身强度较低,穿透粉土、砂性土能力弱,在桩身需穿透粉土、砂性土厚度较大时,桩身强度可能不足,易出现桩身破损现象,故在需穿透厚层粉土、砂土时应慎用。

4.1.5 预应力筋保护层厚度是空心方桩设计的一个重要参数,各规范均有相应的要求,本规程结合《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010)、《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB 50046)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)等标准要求,并结合天津市地质条件综合确定边长不小于 300mm 空心方桩的预应力筋保护层厚度均不得小于 40mm,边长小于 300mm 空心方桩的预应力筋保护层厚度不得小于 25mm。

4.1.6 设计等级为甲级和乙级的空心方桩桩基工程一般都承受较大的水平力,地下车库等的桩基承受抗拔力,因此,设计前应通过静载荷试桩确定单桩竖向承载力、单桩水平承载力及单桩抗拔承载力,为设计提供充分的依据。

## 4.2 经验参数法估算单桩承载力

4.2.1 单桩竖向极限承载力标准值的确定就其可靠性和准确性而言,仍以传统的静载荷试验最高,但由于单桩静载荷试验的费用、时间、人力消耗都较高,大量推广应用显然是不现实的,因此,根据建筑物的类别选择确定单桩极限承载力标准值的方法也是在可靠性与经济性之间选择合理的平衡。按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)提供的根据土的物理性质指标估算单桩竖向极限承载力标准值,计算结果与静载荷试验实测值一般会有一定的偏差,但作为初步设计使用还是可行的。

另外,利用双桥静力触探结果估算空心方桩单桩极限承载力标准值  $Q_{uk}$  的准确性是较高的,一般可采用式 1 计算:

$$Q_{uk} = a q_{cd} A + u \sum L_i \beta_i f_{si} \quad (\text{式 1})$$

式中:  $Q_{uk}$ ——单桩极限承载力标准值(kN);

$A$ ——方桩桩身横截面面积( $m^2$ );

$u$ ——桩身周长(m);

$L_i$ ——桩在第  $i$  层土中的长度(m);

$q_{cd}$ ——桩端静力触探锥尖阻力(kPa),按下式取值;

$$q_{cd} = \begin{cases} \frac{q_{cd1} + q_{cd2}}{2} & (\text{当 } q_{cd1} \leq q_{cd2} \text{ 时}) \\ q_{cd2} & (\text{当 } q_{cd1} > q_{cd2} \text{ 时}) \end{cases}$$

$q_{cd1}$ 、 $q_{cd2}$ ——桩端以上和以下各 4d(d 为桩径, m)范围内,按分层厚度加权的  $q_c$  平均值(kPa);

$\alpha$ 、 $\beta_i$ ——分别为桩端土类修正函数与桩侧土类修正函数,其土类划分标准按表 1。

对于 I 类土:

$$\alpha = \left( \frac{c_q}{q_{cd}} \right)^{0.05}, \quad c_q = 59.83 \text{ kPa} \quad (\text{式 2})$$

$$\beta_i = \left( \frac{c_f}{f_{si}} \right)^{0.2}, \quad c_f = 1212 \text{ kPa} \quad (\text{式 3})$$

对于 II 类土:

$$\alpha = \left( \frac{c_q}{q_{cd}} \right)^{0.02}, \quad c_q = 0.053 \text{ kPa} \quad (\text{式 4})$$

$$\beta_i = \left( \frac{c_f}{f_{si}} \right)^{0.1}, \quad c_f = 14.77 \text{ kPa} \quad (\text{式 5})$$

$f_{si}$ ——与  $q_{cd}$  相对应的静力触探侧摩阻力值。其取值方法为:

当  $q_{cd1} \leq q_{cd2}$  时,  $f_{sd}$  取桩端上、下各 4d 范围内, 按分层厚度加权的以平均值(kPa); 当  $q_{cd1} > q_{cd2}$  时,  $f_{sd}$  取桩端下 4d 范围内, 按分层厚度加权的  $f_s$  平均值(kPa);

表 1 土类划分标准

桩 端	满足 $q_m > 2000\text{kPa}$ $f_{sd}/q_m < 0.018$	划分为 II 类土, 否则为 I 类土
桩 侧	满足 $q_m > 2000\text{kPa}$ $f_{sd}/q_m < 0.018$	

$f_{si}$ ——第  $i$  层土的静力触探侧摩阻力(kPa)。同一层土  $f_s$  值有变化时, 取厚度加权平均值, 参加同一层计算的  $f_{smax}/f_{smin} \leq 2$ 。

$q_{ci}$ ——第  $i$  层土的静力触探锥尖阻力(kPa)。同一层土  $q_s$  值有变化时, 取厚度加权平均值。

4.2.2 经验算, 桩极限侧阻基本按规范《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)提供的参数取值, 结合天津地区经验及实测资料略作调整。

4.2.3 理论上分析, 桩端进入密实粉土、砂性土厚度较大时, 锤击、静压能量已使桩端形成大而密实的“扩大头”, 已起到桩端扩径、桩端土挤密加强的作用。根据天津市勘察院 151 组试桩资料分析, 单桩竖向极限承载力与桩端土层的物理力学性质即土的强度、进入持力层的厚度以及桩端下土层的厚度密切相关, 特别是进入的深度对承载力影响很大, 故本规程特别提出了桩端进入持力层的深度(以桩边长为单位)进行了适当的调整。其中, 端阻力在黏性土中调整幅度较小, 在粉土、砂性土中总体上调整幅度较大, 经试算对比, 用调整后的参数计算, 计算值约为实测值的

(80~90)%左右, 有足够的安全度, 且由于标准贯入实测击数反映粉土、砂土的密实程度较直观且准确, 本规程增加了用标贯击数评价粉土、砂土极限侧阻、极限端阻的参考值。实际计算时应特别注意场地土质的均匀性、试桩地点的土质情况、沉桩施工方式及质量控制严格程度与实际工程桩施工的差异, 特别是桩端进入粉土、砂土的厚度差异。

4.2.4 单桩竖向抗拔静载荷试验一般按设计要求确定最大加载量, 为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧土破坏或桩身材料达到设计强度。在拔桩试验前, 宜采用低应变法对预制桩检查桩身质量, 对有接头的 PHS 方桩应进行接头抗拉强度验算, 确保试验顺利进行。

4.2.5 桩的水平承载力取决于桩和土的力学性能、纵向钢筋配筋率、桩的自由长度、抗弯刚度、桩径、桩顶约束等因素, 试验条件应尽可能和实际工作条件接近, 将各种影响降低到最小的程度, 使试验结果能尽量反映工程桩的实际情况。对于《建筑抗震设计规范》(GB 50011)要求进行水平承载力验算的建筑物, 缺少单桩水平静载试验资料时, 可采用本条公式估算桩的水平承载力特征值。要注意的是, 本规程桩顶允许水平位移值取 (2~5)mm 系借鉴管桩试验统计分析结果, 根据天津市 11 个场地 30 根预应力管桩试桩及反算  $X_{0m}$  值的结果(见表 2), 桩的水平承载力特征值所对应的  $X_{0m}$  值一般在 (2~5)mm 范围内。对于预应力空心方桩, 尚需积累资料, 相应应在  $X_{0m}$  取值时还应考虑竖向承载力相同时空心方桩与管桩水平受力截面、抗弯刚度、开裂弯矩及极限弯矩的大小差异。单桩水平承载力与浅部土层的性质关系很大, 对于新填土或遭受严重扰动的场地, 计算结果偏大, 应进行试验验证。

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)的规定, 按本公式估算

的水平承载力特征值不做抗震调整；验算地震作用桩基的水平承载力时，也不做抗震调整。

#### 4.3 桩基计算

4.3.1 桩顶竖向力和水平力的计算，是在上部结构分析将荷载凝聚于柱、墙底部的基础上进行的。

4.3.2 本条对桩基竖向承载力计算中涉及的荷载组合(荷载效应标准组合、地震作用效应和荷载效应标准组合)及在轴心竖向力作用下、偏心竖向力作用下两种状况的计算给出了明确的具体要求，特别是地震作用效应和荷载效应标准组合下的计算应予以保证。

4.3.3 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)规定单桩承载力确定应通过单桩竖向静载荷试验确定，实际工程也全部采用单桩竖向静载荷试验确定。初步设计时，单桩竖向承载力可根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系估算。为避免混淆，《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)规定桩顶竖向力采用正常使用极限状态标准组合下的竖向力，承台及承台上土自重采用标准值，相应单桩竖向承载力采用特征值，为极限承载力标准值除以2。

4.3.4 空心方桩作为抗拔桩使用时，对于腐蚀环境，桩身裂缝控制等级应按一级进行验算；对于非腐蚀环境，桩身裂缝控制等级可按二级进行验算。

4.3.5 与单桩竖向承载力相比，影响单桩水平承载力特征值的因素较多，包括桩的截面刚度、材料强度、桩侧土质条件、桩的入土深度、桩顶约束情况等，很难准确估算，一般应通过单桩静载荷试验确定，本规程第4.2.5条提供了具体的单桩水平承载力估算公式，在缺少单桩水平静载荷试验资料时，可以用于估算单桩水平承载力特征值。公式中综合考虑了桩身抗弯刚度、水平位移

表2 预应力管桩水平承载力试验结果及计算桩顶允许水平位移值

序号	地点	桩径 (mm)	桩长 (m)	桩顶 土性	m 值	试验(50mm标准) 水平承载力特征 值(N)	反算外 Z <sub>0</sub> (mm)	反算外 水平承载力特 征值(N)	试验(50mm标准) 水平位移 (mm)	反算的 Z <sub>0</sub> (mm)
1	大港	600	36	粘性土	1.5	158	4.5	131	3	2.43
		600	36	粘性土	1.5	150	5	124	4	2.30
		600	36	粘性土	1.5	188	5	161	4.5	2.98
2	开发区西区	500	15	粘性土	1.5	150	4.5	120	2.2	4.47
		500	15	淤泥质土	1.5	188	4.9	150	2.6	5.59
		500	15	淤泥质土	1.5	188	5.1	150	2.2	5.59
3	开发区西区	400	27	粘性土	1.5	165	3.8	150	2.5	5.95
		400	27	淤泥质土	1.5	150	4.2	120	2	4.76
		500	20	淤泥质土为主	1	34.2	5.5	28	3.7	1.33
4	没沽	500	20	淤泥质土为主	1	26	7.1	21	4.6	1.00
		500	20	淤泥质土为主	1	40	4.5	28	2.8	1.33
		500	23	淤泥质土为主	1	60	4.5	45	2.1	2.03
5	咸水沽	500	23	淤泥质土为主	1	60	4.2	45	2.2	2.03
		400	23	淤泥质土为主	1	38	5.1	30	2.1	1.77
		400	23	淤泥质土为主	1	40	5.3	30	3.7	1.77

续表 2

序号	地点	桩径 (mm)	桩长 (m)	桩顶 土性	m 值	试桩 (10mm 标准) 水平承载力特 征值 (kN)	反算的 $\lambda_{90}$ (mm)	试桩 (6mm 标准) 水平承载力特 征值 (kN)	反算的 $\lambda_{60}$ (mm)
6	华明镇	500	13	淤泥质土为主	1	72	6.8	48	3
		500	13	淤泥质土为主	1	72	7.7	48	2.9
		500	13	淤泥质土为主	1	60	4.8	48	2.8
7	陈塘庄	400	18	粘性土	2	105	4.5	90	2.8
		500	23	粘性土	2	150	3.9	135	3.2
8	陈塘庄	500	23	粘性土	2	180	4.1	150	2.8
		500	23	粘性土	2	150	5.2	120	3.87
9	卫国道	400	17	粘性土	2	120	5.3	90	3.10
		500	30	粘性土	2	108	5.5	81	4.25
10	紫金山路	500	30	粘性土	2	108	4.1	90	3.2
		500	30	粘性土	2	90	4.7	81	1.98
11	红 桥	500	21	软粘土	1.5	90	4.6	79	3.3
		500	21	软粘土	1.5	99	4	81	2.8
		500	21	软粘土	1.5	99	3.6	81	2.1
		500	23	软粘土	1.5	79	3.2	68	1.7
									2.6
									2.19

系数及允许水平位移值等多种因素。对于抗弯性能差的空心方桩，其水平承载力由桩身强度控制，通常是桩身首先出现裂缝，然后断裂破坏。另外，受水平作用桩其桩身受弯承载力和受剪承载力的验算应按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94) 进行。

4.3.6 空心方桩桩身竖向承载力应考虑桩的耐久性、施工时的强度损失等因素进行限制。按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94) 等规范，工作条件系数  $\psi_c$  取 0.60。

4.3.8 对于桩基础一般需要进行沉降计算，建筑物地基变形计算值不应大于地基变形允许值。空心方桩基础同一般的桩基，其最终沉降量本规程提供两种计算方法供选择：

1 可采用实体深基础单项压缩分层总和法计算。当无当地经验时，桩基沉降经验系数  $\psi_s$  按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 选用。

表 3 桩基沉降经验系数  $\psi_s$ 

$\bar{E}_s$ (MPa)	$\bar{E}_s < 15$	$15 \leq \bar{E}_s < 30$	$30 \leq \bar{E}_s < 40$
$\psi_s$	0.50	0.40	0.30

注：①  $\bar{E}_s$  为沉降计算深度范围内压缩模量的当量值；

②  $\psi_s$  可根据  $\bar{E}_s$  内插取值。

2 也可采用简化式计算。简化式中桩基沉降经验系数  $\psi_s$  可按表 4 获得，其中  $B_0$  为承台  $s_3$  宽度， $s_0$  为桩间距， $d$  为桩外边长， $n$  为桩数量， $L_c$  为承台长度， $L$  为桩入土深度。

表4 桩基沉降经验系数  $\psi$ 。

$s_e/d$	3			4			5			6		
	100		400	100		400	100		400	100		400
	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
$L_e/B_e$	0.356	0.296	0.426	0.385	0.392	0.330	0.461	0.419	0.358	0.481	0.447	0.440
$L_e$	0.225	0.180	0.275	0.245	0.250	0.200	0.300	0.270	0.220	0.315	0.290	0.285
14	0.150	0.116	0.188	0.161	0.169	0.131	0.206	0.180	0.146	0.218	0.195	0.195
20	0.101	0.076	0.129	0.110	0.115	0.087	0.141	0.124	0.098	0.152	0.135	0.135
28	0.073	0.055	0.092	0.079	0.081	0.061	0.103	0.088	0.070	0.109	0.096	0.096
38	0.056	0.041	0.073	0.062	0.064	0.049	0.083	0.069	0.054	0.088	0.077	0.077
50	0.044	0.033	0.058	0.048	0.050	0.038	0.064	0.055	0.042	0.069	0.059	0.059
64												
80												

注：桩数少于100时按100计，大于400时按400计。

## 4.4 空心方桩连接和节点

4.4.1 空心方桩接头数量不宜过多，设计时应根据设计桩长、适宜的接桩位置，合理组合单节桩；将单节桩截断端头板焊接后再沉桩，很容易造成桩的破损，再处理时难度很大，故应禁止。

4.4.2 天津地区连续发生多起采用预应力混凝土管桩作为抗拔桩造成基础甚至上部结构上浮的事故，后期处理所需的时间、资金均较大，主要是没有进行灌芯抗拔试验确定抗拔力，采用的构造措施不合理，设计人重视也不够。由于空心方桩与管桩受力状况基本相似，因此，在天津地区采用空心方桩作为抗拔桩时也应慎重，本条明确规定如采用空心方桩作为抗拔桩，应采用灌芯配筋与承台连接，桩顶灌芯混凝土深度应通过现场灌芯抗拔试验确定，但不得小于 $(8 \sim 10)d$ 且不得小于4.5m，其灌芯深度、配筋数量应进行严格计算。



## 5 空心方桩制作、规格和质量要求

### 5.1 规格分类

5.1.1 空心方桩按混凝土强度等级分类的标准:空心方桩离心混凝土强度等级不小于C60且小于C80定为PS桩或PTS桩,强度等级不小于C80的空心方桩定为PHS桩。

5.1.2 天津地区常用空心方桩规格为250mm、300mm、350mm、400mm、450mm、500mm、550mm、600mm。外径为600mm以上的PS、PHS空心方桩尚未列入规定中,如工程中确有使用的必要,可按照本规程规定进行图集编制或专项设计。

5.1.3 空心方桩按桩身结构抗弯性能或有效预压应力值分类时,分为A型、AB型和B型三种型号,参考行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ 94)等并本着适当从严的原则,规定其有效预压应力值应分别按(3.8~5.0)MPa、(5.0~7.0)MPa、(7.0~9.0)MPa范围内控制。

5.1.4 PTS桩按现行有关标准尚未进行分类,其主要承受纵向压力,抗弯性能不做具体规定,但应满足方桩吊运和堆放要求。

### 5.3 桩身构造要求

5.3.1 为确保空心方桩的质量,从构造方面要求空心方桩的预应力钢筋配置必须遵守方形、对称、均匀的原则进行配置。方形指预应力筋连线是与桩横截面方向一致的正方形,且四个角点都有预应力筋;对称不仅指正交方向,还包括对角线方向。

### 5.4 产品质量要求

5.4.2 空心方桩的外观质量和尺寸允许偏差的检查工具和检查方法要求比较明确,结合天津对空心方桩的实际使用情况,对空心方桩黏皮和麻面、桩身合漏浆、局部碰损、桩套撞凹陷、接头及桩套箍与混凝土结合处等缺陷深度均比国家及行业标准严格。空心方桩外观质量和尺寸允许偏差的检查工具和检查方法可参照表5、表6执行。

5.4.4 规定了各类型桩的节最大长度,制桩及施工应严格执行。

5.4.6 空心方桩的混凝土强度必须达到100%设计强度后才允许出厂。关于空心方桩的养护时间,一般PS及PTS桩采用常压蒸汽养护,养护应不少于7天龄期,如有其它有效措施且有试验数据表明混凝土抗压强度、抗拉强度能达到与标准养护28天龄期的强度时,可不受龄期限制;PHS桩高压蒸汽养护下应不少于1天龄期,且高压蒸汽养护后在常温下静停1天后方可沉桩。

表5 空心方桩外观质量的检查工具和检查方法

序号	项 目	检查工具和检查方法	测量工具 分度值 mm
1	粘皮和麻面	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1mm	0.5
2	桩身合缝漏浆	漏浆长度:用钢卷尺测量,精确至1mm; 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,精确至1mm	0.5
3	混凝土局部破损	用钢直尺和钢卷尺测量混凝土局部破损处的尺寸并计算其面积;用游标卡尺测量混凝土局部破损处的深度,精确至1mm	0.5
4	内外表面露筋	目测	/
5	表面裂缝	不用20倍读数放大镜检查,精确至0.01mm	0.01
6	桩端面平整度	目测	/
7	断筋、脱头	目测	/
8	内表面混凝土塌落	目测	/
9	桩套筒(钢衬板)凹陷	用钢卷尺测量,精确至1mm	0.5
10	桩与板 端面 结合面	漏浆 漏浆长度:用钢卷尺测量,精确至1mm; 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,精确至1mm	0.5
		空洞和 蜂窝 目测	/

表6 保护层厚度及尺寸偏差的检查工具和检查方法

序号	检查项目	检查工具和检查方法	测量工具分 度值mm
1	混凝土保护层 厚度	用深度游标卡尺或钢直尺在空心方桩中部同一断面的三处不同部位测量,精确至0.1mm	0.05
2	长度	用钢卷尺测量,精确至1mm	1
3	外径	用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径,取其平均值,精确至1mm	1
4	壁厚	用钢直尺在同一断面相互垂直的两直径上测定四处壁厚,取其平均值,精确至1mm	0.5
5	桩端部倾斜	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1mm	0.5
6	桩身弯曲度	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1mm	0.5
7	漏浆长度	用钢卷尺测量,精确至1mm	1
8	漏浆深度	用深度游标卡尺测量,精确至0.1mm	0.02
9	裂缝宽度	用20倍读数放大镜检查,精确至0.01mm	0.01
10	端板端面平面度	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,精确至0.1mm	0.02

## 6 空心方桩桩基施工

### 6.1 一般规定

6.1.1 目前,在天津地区空心方桩施工所使用的沉桩施工工艺主要有两种,即锤击法沉桩和静压法沉桩;针对设计人要求的设计参数、桩体材质、地质条件、施工场地周围环境,结合设备的施工能力选用施工设备。不同的设计工艺选用不同的设备,不同的设计参数选用不同型号的桩机。如果设备选型不当,容易造成沉桩质量事故,或达不到设计要求,因此,应根据不同的设计参数选用设备。另外,施工前的现场准备是施工质量的保证,准备工作越细,施工质量越有保证。

6.1.2 施工前应准备好相关的各种资料,特别是应着重在三个方面:一是场地地质资料,根据场地地质条件进行桩型适用性分析,选择合适的施工设备,确定桩体强度及考虑是否加桩尖等;二是场地现状及周围环境,包括场地回填情况、地下管线及地下构筑物等埋藏情况、施工现场上空的高压电线等资料,同时应考虑施工对周围建筑及环境造成的影响;三是编写施工组织设计,它是作为现场管理和质量保证的主要依据,能充分反映施工单位现场管理水平和技术水平。另外,对于不熟悉或地质条件有可能不利于沉桩的场地,在工程桩正式施工前,根据地质条件在有代表性的位置进行试打沉桩,在取得工艺试验参数后再全面开工,有利于沉桩的顺利进行。

6.1.3 空心方桩进入现场,主要做三方面验收工作:

1 资质及强度报告:首先要验收内务资料三证(厂家资质、厂家营业执照、厂家试验室资质),其次要验证产品原材复试报告

(出厂合格证、混凝土试块强度报告、钢材出厂合格证及复试报告、水泥出厂合格证及复试报告及砂、石试验报告、混凝土配比单、混凝土碱集料试验报告;

2 现场产品验收主要参照《预应力离心混凝土空心方桩》(JCT 2029)验收,主要检验端头板是否和桩身垂直(出现超标的说明预应力钢筋预拉力不均,或预应力筋长度偏差超标)、端头板预应力钢筋墩头是否有露出端头板外、桩端头混凝土与端头板密实程度及桩管内外是否有裂隙或损坏(断桩)、桩的挠曲度并检查是否有横裂及其他缺陷;

3 现场强度验收,现场一般可采用回弹仪进行强度检测。另外,外观验收桩体是否亏料、桩体颜色、端头板处混凝土是否密实、管内是否有无混凝土塌落现象也能定性验收桩体强度。

6.1.4 现场空心方桩的堆放多采用单层堆放或双层堆放,单层堆放对场地平整要求较高,双层堆放应在桩下放置垫木。空心方桩吊点位置应符合下列规定:

1 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搭钩住空心方桩两端起吊,否则应采取其它措施进行;

2 施工、运输时空心方桩长度不大于 15m 且符合本规程的单节长度时,宜采用两点起吊或经验算符合钩吊要求的可直接钩住空心方桩两端起吊;施工现场吊运空心方桩时,可采用单支点法。

6.1.5 桩点施放是现场控制重要环节之一,同时应防止施工时的桩点跑位,因此,施工时应经常对将要施工的桩位进行复核,以保证桩点位误差在允许范围内。

6.1.6 打桩顺序是打桩施工方案的一项重要内容,以往施工单位不注意合理安排打桩顺序而造成事故的事例很多,如桩位偏移、

挤断上拔、地面隆起过多、建筑物破坏等，因此，施工时必须合理安排施工顺序。

6.1.7 为准确控制沉桩深度或桩顶标高，施工前应对全部工程桩的桩顶标高进行分类，并在施工时严格按设计标高执行，一般采用水准仪控制桩顶标高。对于以密实土层作为桩端持力层的场地沉桩时，锤击法可采用贯入度控制，最后三阵击每阵击贯入深度不宜控制太小，以防止将桩头锤坏，并根据不同的锤重或不同的设计要求综合确定；静压法可采用压桩力控制，其控制的压桩力不能超过桩身结构承载力设计值。对于不能达到设计要求的桩，应及时向设计人员反馈；对于施工桩长与设计桩长差异较大时，设计应采取相应的措施。

6.1.8 为保证沉桩的垂直度，送桩器端面应平整，且与送桩器中心轴线相垂直；使用的送桩器必须与桩相匹配，保证施工过程中桩体质量不受损坏。

6.1.10 桩基施工时应充分考虑施工震动、挤土、噪音等可能对附近建(构)筑物的正常使用和安全的影响，应根据建(构)筑物的正常使用和安全的要求并结合场地地质条件及施工能力采取相应的有效措施，如采用开口桩尖、预钻孔沉桩、开挖地面防挤沟、设点进行沉降及开裂观测等，必要时应对建(构)筑物采取加固措施。

6.1.11 空心方桩焊接前，上下节桩段接桩应保持顺直，错位偏差不得大于2mm；焊接遍数不得少于三遍，内层焊必须清理干净后方能逐步进行施焊中层及外层；焊缝应饱满连续，不得有任何夹渣、裂缝或缺焊等；焊好后的桩接头应自然冷却一定时间后方可继续锤击或静压施工。对于持力层为密实粉(砂)土层场地，冷却时间宜严格按条文规定的时间执行；对于一般黏性土层场地，冷却时间可适当减少，在保证桩头焊接质量前提下，锤击法冷却时

间最少不应少于3分钟，静压法冷却时间最少不应少于2分钟。

机械连接是将加工好的机械连接接头预先浇注在桩两头，然后在施工现场用螺纹连接的一种新型连接工艺，接头由螺纹端盘、螺母、连接端盘、挡板防松嵌块组成，通过连接件的机械咬合作用及端面的承压作用，实现连接。这种连接技术与目前焊接工艺连接方法相比，具有接头对中性好、施工速度快、操作方便、质量稳定、无明火作业，不受施工环境及气候的影响，可全天候施工等特点。该接头产品能在(2~3)分钟内将两根桩顺利地连接起来，这比用焊接工艺的效率要提高几倍，并且操作简便，质量可靠，接桩后整根桩的受力性能满足国家标准有关规定。

6.1.12 桩基施工是对勘察、设计、桩体质量等的有效验证，因此，施工遇到本条所列情况之一时均应暂停打桩，并及时报设计、监理等有关人员，以便进行原因分析，并研究处理解决的措施。

6.1.14 由于空心方桩抗水平力相对较差，因此，在施工完的空心方桩周边或周围开挖深基坑时，必须制定合理的施工方案，禁止碰碰工程桩，并保证基坑围护结构和边坡土体的稳定性；基坑开挖宜分层、分片对称开挖，每层开挖厚度不得大于2.0m，软土地区挖土过程中土体高差不应大于1.0m，防止边坡土体滑动造成空心方桩水平位移甚至断桩。

6.1.15 由于地层原因导致桩施工不到位而需要截桩时，严禁使用大锤硬砸，应采用锯桩机进行截桩。

6.1.16 沉桩后，桩头高出地表部分应小心保护，严禁施工机械碰撞或将桩头用作拉锚点；沉桩后，空心方桩孔洞应做好回填、覆盖等措施，防止坠人坠物事件的发生。

## 6.2 静压法沉桩

6.2.1 静压法沉桩是通过静力压桩机以压桩机自重及桩架上的配重作反力将预制桩压入土中的一种沉桩工艺。静压桩施工工艺具有无噪音、无振动、施工周期短、无冲击力等优点，早在 20 世纪 50 年代初，我国沿海地区就开始采用静力压桩法；到 80 年代，随着压桩机械的发展和环保意识的增强得到了进一步推广；至 90 年代，压桩机实现系列化，且最大压桩力达到 8000kN，它既能施压预制实心方桩，也可施压预应力空心方桩。静力压桩机沉桩施工时，不仅要求夹持器表面应平整，还要求四个方向的夹板运行速率尽量一致。静压桩机的选取可参考表 7。

6.2.2 空心方桩的最大压桩力、最大抱压力取决于桩的强度、质量，不同类型的空心方桩所能承受的最大压桩力、最大抱压力差异均很大，施工时应结合施工经验综合确定。空心方桩桩身允许抱压压力宜满足下列要求：

$$\text{PS 桩: } P_{\max} \leq 0.5(f_{\text{cu,k}} - \sigma_{\text{PS}})A \quad (\text{式 } 6)$$

$$\text{PHS 桩: } P_{\max} \leq 0.45(f_{\text{cu,k}} - \sigma_{\text{PS}})A \quad (\text{式 } 7)$$

式中： $P_{\max}$  —— 桩身允许抱压压力；

$f_{\text{cu,k}}$  —— 空心方桩混凝土立方体抗压强度；

$\sigma_{\text{PS}}$  —— 空心方桩混凝土有效预压应力；

$A$  —— 桩身截面积。

6.2.3 实践表明，静压法沉桩用于中高压缩性黏性土层是非常实用的，但在基岩地区或厚层密实但分布不稳定的粉土、砂土分布地区适用性相对较差，因此，必须根据桩机的压桩力与终压力及土层分布的均匀性、厚度、桩型、桩截面规格大小与布桩形式、设计要求以及终压前的稳压时间与稳压次数等综合考虑其适用性。在压桩

表 7 静压桩机选用参考表

桩边长 (mm)	压桩力 (kN)	粉(砂)土层 标贯击数 (击)	适用条件	
			进入粉(砂)土 层厚度(m)	$Q_{\text{sk}}$ (kN)
250	800~1200	20~30	1.0~2.0	800~1000
	1000~1700	>30	1.0~2.0	1000~1500
300	2000~2500	20~30	1.0~2.0	1500~2000
	2500~3000	>30	1.0~2.0	2000~2500
350	2000~3000	20~30	1.0~2.0	2000~2500
	3000~3500	>30	1.0~2.0	2500~3000
400	2500~3500	20~30	1.0~2.0	2000~3000
	3500~4500	>30	1.0~2.0	3000~3500
450	3500~4500	20~30	1.0~2.0	3000~3500
	4500~5500	>30	1.0~2.0	3000~4000
500	3500~4500	20~30	1.0~2.0	3000~4000
	4500~6500	>30	1.0~2.0	4000~4500
550	4000~5500	20~30	1.0~2.0	4000~4500
	5500~7000	>30	1.0~2.0	4500~5000
600	5000~6500	20~30	1.0~2.0	4500~5000
	6500~8000	>30	1.0~2.0	5000~5500

注：①本表仅供静压机选型参考；②本表适用于(20~30)m长空心方桩。

过程中,当遇到压力值急剧增加,桩体突然发生倾斜、移位,桩顶或桩体出现严重裂缝、破碎等情况时,应暂停压桩,并分析原因,采取相应措施;另外,施工中严禁用桩顶送桩,避免对桩体造成损害。

6.2.4 静压法沉桩施工时,桩尖“刺入”土体中,桩周土体发生剧烈的挤压扰动,原状土的初应力状态受到破坏,土的抗剪强度降低,当桩尖处土体所受应力超过其抗剪强度时,土体发生急剧变形而达到极限破坏。桩端阻力主要来自桩尖下穿透土层时直接冲剪桩端土体的阻力,当土体的强大法向抗力所引起的桩周摩擦力和桩尖阻力大于桩顶的贯入压力时,就会发生沉桩不到位的现象。静压空心方桩施工经常发生沉桩达不到设计深度的现象,分析原因,既有土层太密实的原因,也有设备选型不合理的因素,也有设计不合理的问题。其原因主要有以下几个方面:

1 持力层起伏大。对于持力层起伏较大而又不能分区确定合理桩长时,设计一般以最低标高确定桩长,极易造成持力层揭露较早的部位沉桩不到位;

2 设计选择桩端持力层不合理。由于承载力不满足设计要求等原因造成设计确定桩端持力层不合理,很容易造成部分桩甚至全部桩沉不到位,虽然施工可采取大吨位的锤击设备等措施施工,但仍很可能造成桩不到位;

3 勘察资料不准确。勘探点不够或勘探资料粗,对工程地质情况不明,尤其是对持力层起伏标高不明,致使设计考虑持力层和选择桩长有误。对于不准确的勘察资料,一旦持力层为密实土层,很容易造成部分桩甚至全部桩沉不到位。另外,勘探工作是以点带面,对局部硬夹层、软夹层、地下障碍物不可能全部了解清楚,尤其在复杂的工程地质条件下,压桩施工就会达不到设计

要求的控制标准;

4 桩尖需穿透局部的较厚硬夹层。由于硬夹层分布不稳定,设计选择穿透硬夹层,以下部土层作为桩端持力层,分布硬夹层的部位经常造成沉桩不到位。

总之,发生空心方桩沉不下去时,应冷静分析原因,找出对策才能继续施工,切不要盲目加大压桩力强行沉桩。

另外,在终压力的确定时,一些初接触静压桩的设计、施工人员往往将终压力与单桩竖向极限承载力混为一谈,实际上终压力与单桩竖向极限承载力是两个不同的概念,终压力是桩尖达到设计持力层终止压桩时出现的最终静压力,其每次出现持续时间通常只有(5~10)秒;单桩竖向极限承载力是在静压桩施工完成后,土体中孔隙水压力开始消散,土体发生固结强度逐渐恢复,这时桩才开始获得了工程意义上的极限承载力。在实际工作中,根据地基土性质的不同,终压力与单桩竖向极限承载力仍有一定的相关关系,从大量的工程实践看,当桩端为黏性土时,长度较长的静压桩其最终的极限承载力比压桩施工时的终压力要大很多,静压桩最后获得的单桩竖向极限承载力可比终压力高出(2~4)倍;但是桩端为密实状态的粉土、砂土时,压桩力普遍偏高,最终极限承载力达不到桩的终压力。根据多项试桩结果统计,单桩极限承载力与终压力的比值随桩端持力层的砂性增大呈反比关系,即砂性越大,比值越小;黏性越大,比值越大。

6.2.5 “引孔压桩法”是对桩身范围内的土层(特别是密实土层)通过高压旋喷喷射清水或水泥浆引孔或螺旋钻干作业法引孔,达到桩沉到位的目的;引孔的最大难点在于控制垂直度偏差。另外,采用螺旋钻干作业法引孔时,其引孔直径应小于空心方桩对角线至少100 mm,否则设计应考虑引孔对承载力的影响。

6.2.6 当桩较密集或土层为厚层饱和淤泥质土时,由于挤土效应的影响,很容易对周围已施工的桩位产生上浮和水平偏位,设观测点检测是必要的。

### 6.3 锤击法沉桩

6.3.1 锤击法沉桩工艺效率高、进度快,穿透砂层和进入持力层的能力明显强于静压法沉桩,所以锤击法沉桩所提供的承载力一般要大于静压法沉桩承载力。但该施工工艺施工噪声污染大、由于挤土、震动对临近建筑物的使用安全影响较大。柴油锤重的选取可参考表8。

锤击法沉桩工艺选锤原则如下:

1 锤击冲击力大于土的阻抗力,才能保证桩穿过硬土层,进入持力层;

2 保证满足设计要求的同时确保桩体的完整性;

3 锤重是桩重的(1.5~2.5)倍,采用重锤低击的方法。

通过实践经验表明,锤重和桩型应当相匹配,否则锤选小了,锤击数过高,造成桩顶混凝土疲劳而破坏,送桩不到位;锤重过大,造成桩体压曲或局部破坏。

表8 柴油锤重选用参考表

锤型	柴油锤(kN)									
	20	25	35	45	45	45	60	72	80	
	20	25	35	45	45	45	60	72	80	
锤的总质量(kN)	45	65	72	96	96	96	150	180	195	
	1500~2000	2000~2500	2500~4000	4000~5000	4000~5000	4000~5000	5000~7000	7000~10000	8000~11000	
冲击力(kN)	1.8~2.3									
常用冲程(m)										
空心方桩边长(mm)	250	300	350	400	450	500	550	600		
一般进入深度(m)	1.0~2.0	1.5~2.5	2.0~3.0	2.5~3.5	2.5~3.5	3.0~4.0	3.0~5.0	3.0~6.0		
静力触探比贯入阻力 $P_s$ 平均值(MPa)	1~2	1~2	2~3	2~3	3~4	3~4	3~4	3~4		
持力层土										
单桩极限承载力标准值 $Q_{sk}$ (kN)	800~1000	1000~1500	1500~2000	2000~2500	2500~3000	3000~3500	3500~4000	4000~4500		

续表 8

空心方桩边长 (mm)	250	300	350	400	450	500	550	600
一般进入深度 (m)	2.0~3.0	1.5~2.5	1.5~2.5	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0
静力触探比贯入 阻力 $P_s$ 平均值 (MPa)	$>5$	$>8$	$>10$	$>15$	$>15$	$>15$	$>15$	$>15$
标准贯入击数 N(未修正)	15~25	20~30	30~40	$>40$	$>40$	$>40$	$>40$	$>40$
锤的常用控制贯 入度(cm/10 击)	2~4	2~3	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2
单桩极限承载力 标准值 $Q_{sk}$ (kN)	1200~ 1800	1800~2300	2300~3000	3000~3800	3800~ 4500	4500~5500	5500~6000	6000~ 6500

注：①本表仅供参考；②本表适用于(20~30)m长空心方桩。

6.3.2 为控制桩的垂直度，严禁使用不配套的桩帽，要求桩帽内边长应比桩边长大(20~30)mm；桩帽和桩锤之间、桩帽与桩头之间、送桩器与桩头之间设置的桩垫应是弹性较好的材料，目的是有效地保护桩头不被锤坏。

6.3.3 空心方桩锤击施工时，应严格控制桩的垂直度和桩体质量。

6.3.4 空心方桩每根桩的总锤击数及最后 1m 沉桩锤击数应符合下列规定：PTS 桩总锤击数不宜超过 500，最后 1m 沉桩锤击数不宜超过 100；PS 桩总锤击数不宜超过 1000，最后 1m 沉桩锤击数不宜超过 200；PHS 桩总锤击数不宜超过 1500，最后 1m 沉桩锤击数不宜超过 300。根据施工经验，对不同类型的空心方桩在密实坚硬土层中施工所规定的总锤击数，目的是防止桩身混凝土产生疲劳破坏，但规定的总锤击数应是施工时的桩型和地质条件相匹配的锤所施打的锤击数，如果出现小锤打大桩或大锤打小桩等特殊情况，上述锤击数要求仅供参考。

6.3.6 贯入度是指满锤情况下连续 3 个 10 锤(一阵)的贯入深度。本条所规定的停止锤击的控制原则适用于一般情况，确定停锤标准是较复杂的，宜借鉴经验与通过(静)载试验综合确定停锤标准。



## 7 质量检查与验收

### 7.1 一般规定

7.1.2 由于空心方桩基础工程属于建筑地基基础工程,其设计、制桩、施工质量验收同样应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202)和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的有关规定。

7.1.3 现行国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106)、天津市《建筑基桩检测技术规程》(DB 29-38)对单桩承载力和桩身完整性检测作了许多详细的规定,桩身浅部缺陷、桩身或接头存在裂隙的空心方桩的验证检测可按照此规范相关条文进行。

7.1.5 由于检测的成本和周期问题,很难做到对桩基工程全部基桩进行检测。施工后验收检测的最终目的是查明隐患、确保安全。为了在有限的抽检数量中能充分发现桩基存在的质量问题,宜优先考虑设计要求、施工情况、地质条件及异常情况等因素,再考虑抽样的随机性。如果设计或监理方有另外的抽样原则,应按设计或监理方的书面要求进行,并在检测报告中予以说明。另外,本条所述的抽样原则是有先后顺序的,应依次考虑,不应颠倒。

对于本条第一款情况的检测应为100%,且应不包括在正常的检测数量比例之内。换句话说,就是每个检测工程的检测数量应为对施工质量有问题或有疑问的桩进行100%的检测,再加上规定的检测数量比例。

### 7.2 桩质量检查

7.2.2 桩身垂直度检查是空心方桩沉桩质量检查的主要内容,桩基施工和基坑开挖过程中都会造成空心方桩倾斜,桩身垂直度超过允许偏差的空心方桩,应作好记录并进行桩身质量检查。由于空心方桩是中空的刚性杆件,本规程提供的空心方桩桩顶平面位置的允许偏差为最大值,空心方桩施工过程中应使桩顶平面位置偏差越小越好。

7.2.3 常用的桩身质量直观法检查,其检查深度有限,检查分辨率较低,如空心方桩内进水将不能进行直观法检查。有条件的施工单位可采用高分辨力的空心方桩内壁成像系统检查空心方桩内壁的完整性。目前,国内外空心方桩内壁成像系统有两种,一种是声波成像系统,一种是光学成像系统,前者分辨率较高且不受空心方桩内地下水水质限制。

7.2.4 高应变检测技术是从打入式预制桩发展起来的,试打桩和打桩监控是其特有功能,静载荷试验无法做到。进行打桩监控可以减少桩的破损率、选择合理的入土深度,进而提高沉桩效率。

7.2.5 为检测接头焊接质量,多节桩施工过程中宜采用探伤测试法抽检接头,特别是对于以预应力混凝土空心方桩作为抗拔桩使用时。

### 7.3 单桩承载力和桩身完整性检测

7.3.1 工程桩应进行承载力检验是现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202)和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)以强制性条文的形式规定的;桩身完整性检测是《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202)质量检验标准中

的主控项目。承载力检测的目的是检验工程桩的预期使用功能,桩身完整性检测的目的是找出各种可能影响单桩承载力的因素,最终仍然是为了准确地判定单桩承载力并正确评价整个桩基工程,因此,基桩质量检测中的承载力和完整性两项内容是相互关联且不能截然分开的。

7.3.2 考虑到空心方桩设计、结构方面的原因,单桩竖向抗压静载试验宜采用堆载法进行。如需要采用锚桩法进行静载试验时,应对锚桩进行插筋灌芯处理,并对插筋灌芯的长度、摩擦力及钢筋强度进行验算;当试桩要进行截桩处理时,考虑到截桩后桩顶因应力松弛作用而强度降低,也应对桩顶进行插筋灌芯等加固处理,以保证桩头不发生破坏。

7.3.3 本条规定了在何种情况下对设计所需的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力、单桩水平承载力进行单桩静载荷试验。规定对设计等级为甲级、根据规定需要试桩的乙级、地质条件复杂、施工质量可靠性低的空心方桩基础进行静载荷试桩已普遍被大家认可,但挤土群桩施工所产生的质量事故更应引起我们的重视,这是由于土体的侧挤和隆起,质量问题时有发生,有时施工前虽做过静载试验,但因前期施工的试桩数量有限,挤土效应并未充分显现,施工后的单桩承载力与施工前的试桩结果有时相差较大。

7.3.4 “相近条件”系指在天津市范围内同类场地土质情况下所做的动静对比验证,当然最好是有本场地的动静对比试验资料。高应变法检测单桩承载力的可靠性在很大程度上取决于检测人员的技术水平和经验,因此强调要有本地区相近条件的对比验证资料或本地地试桩动静对比资料。

7.3.5 完整性检测中的低应变反射波方法作为普查手段,具有速

度快、费用低和抽检数量大的特点,易于发现桩基的整体施工质量问题。对此条做以下说明:

1 由于弹性波激发、生成、传播机理方面的问题,建议对空心方桩测试时,在空心方桩侧壁的不同方向分别进行敲击、接收试验,并对比其一致性。

2 本条强调了判断桩身完整性及划分缺陷类别时,应考虑到空心方桩焊接工艺对测试方法的影响,注意区分反射波出现在桩身和接桩部位时的两种不同情况。

空心方桩桩身的破坏多属急剧脆性破坏,且由于结构构造方面的原因,易形成纵向劈裂(裂缝)。从工程安全、耐久性考虑,空心方桩桩身的轻微破裂也是应该被严格禁止的。就目前低应变普遍采用的反射波方法而言,空心方桩桩身的破坏(纵向劈裂、裂缝)对测试分析不利,一般很难形成明显的反射界面,在有些情况下即使破坏很严重,反射波也并不明显,更难看到二次反射波。纵裂缝有时表现为测试曲线上出现小幅度低频背景,很容易被漏判。因此有必要强调,根据反射波的幅值来判断桩身部位完整性时一定要从严把握,根据反射波的明显程度,宜先考虑判为II类“合格桩”带来的安全隐患。当桩身部位出现较明显反射波时,宜判为III、IV类桩。

现在普遍采用的空心方桩焊接工艺仅为端板焊接。受工艺限制,上下节桩的顶底面间有时会存在微小的间隙。由于完整性测试中,弹性波引起的桩身的应变是微量级的(位移量级为 $10^{-5}\text{m}\sim 10^{-6}\text{m}$ ),因此从弹性波动力学意义上讲,经过焊接的接桩部位仍有可能表现为一强反射界面。因此某些情况下接桩部位出现反射波应属正常现象。对于接桩部位反射波较明显的情况,必要时宜进一步结合高应变方法或静载法进行复核测试。资料表明,许多

被低应变测试方法判为Ⅲ、Ⅳ类的桩，静载荷试验承载力也不低，用高应变方法测试分析可判断为Ⅰ、Ⅱ类桩。因此对接桩部位出现反射波时，应慎重对待，宜进一步结合高应变方法或用静载法进行复核测试，综合判定其类别。

7.3.6 由于空心方桩与预应力混凝土管桩受力状况基本相同，对预应力混凝土管桩的认识也可以延伸用于空心方桩。通过对天津市大量的预应力混凝土管桩低应变及高应变检测资料进行分析，发现以下现象：

1 单节预应力混凝土管桩的完整性测试曲线多数能看到明显的桩底反射波，但大部分经过接桩的预应力混凝土管桩(两节或多节桩)桩底反射不明显，尤其是桩长大于20米的两节或多节预应力混凝土管桩，桩底反射波多不可见；

2 多数检测单位在报告中没有反映此问题，只是简单地将看不到桩底反射的桩判断为Ⅰ、Ⅱ类合格桩；

3 利用高应变测试方法的速度曲线能很好地分析全桩身的完整性。

这表明低应变反射波方法在两节或多节预应力混凝土桩的完整性测试方面有一定的局限性，不能可靠地反映出第二节以下桩身的完整情况。采用高应变方法测试，在取得基桩承载力参数的同时，利用高应变测试的速度曲线分析桩身完整性，可有效地弥补低应变方法分析第二节以下桩身完整性时的不足。推荐对采用两节或多节空心方桩的基础工程做一定数量的高应变测试，以便更好地分析第二节以下桩身的完整性，提高工程安全可靠程度。在此强调对于桩基设计等级为甲级的建筑物、或两节以上的工程桩应进行高应变法检测。

7.3.7 当检测结果发现单桩承载力和桩身完整性不满足有关要

求时，相关各方应慎重对待，认真分析原因，采取相应的措施。当单桩承载力出现问题时，在排除桩身完整性问题前提下，要从工程地质条件、桩基参数选用、压桩是否到位及检测等多方面分析原因。当桩身完整性出现问题时，要分析空心方桩构件、运输吊装、桩基施工、基坑开挖及周围条件变化等因素。

在正常情况下，Ⅰ、Ⅱ类桩的承载力是能够满足设计要求的。对于Ⅲ类桩，尽管其桩身存在明显缺陷，但其竖向抗压承载力不一定不满足设计要求，需要采用其他检测方法(高应变法、静载法)进行复测、核验。

7.3.8 由于桩身完整性检测是随机抽检，从严格要求、确保安全度的角度考虑，本规程取消了二次扩大比例抽检，规定当Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的20%时，直接对工程桩进行全数检测。

#### 7.4 空心方桩桩基工程验收

7.4.2 当空心方桩采用静压桩基施工时，由压力表读数换算的压桩力往往作为设计、施工的参考数据，静压机的压力表应进行标定。影响终压力值大小的因素较多，如沉桩速率、地下孔隙水压力、场地土性质、挤土效应、压桩机性能等，终压力值与空心方桩的单桩竖向抗压承载力的对应关系不是绝对的。

发行单位：天津市建设工程技术研究所（独家征订和发行）  
发行地址：天津市河西区气象台路98号  
发行电话（传真）：022-23357710