

ICS 93.020

CCS P22

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB32/T 4111—2021

预应力混凝土实心方桩基础技术规程

Technical specification for prestressed Concrete solid square pile foundation

2021-09-16 发布

2022-03-01 实施

江苏省市场监督管理局
江苏省住房和城乡建设厅

发布

WWW.ZYLJC.CN

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 预应力实心方桩基础设计与计算 4

 4.1 一般规定 4

 4.2 预应力实心方桩的分类、选用与布置 5

 4.3 预应力实心方桩基础构造 7

 4.4 承压方桩设计 8

 4.5 抗拔方桩设计 11

 4.6 抗水平力预应力实心方桩设计 14

 4.7 桩身承载力计算 14

 4.8 预应力实心方桩防腐设计 18

5 预应力实心方桩的制作、构造和质量要求 20

 5.1 原材料 20

 5.2 生产和制作要求 22

 5.3 构造和质量要求 22

6 预应力实心方桩基础施工 25

 6.1 一般要求 25

 6.2 吊运和堆放 27

 6.3 接桩与截桩 28

 6.4 静压法沉桩施工 29

 6.5 锤击法沉桩施工 30

 6.6 送桩 31

7 预应力实心方桩检验和验收 31

 7.1 一般规定 31

 7.2 施工前检验 34

 7.3 施工过程中检验 34

 7.4 施工后检验 35

附 录 A （资料性） 预应力实心方桩构造示意图..... 37

附 录 B （资料性） 无端板机械连接预应力实心方桩构造示意图..... 38

附 录 C （资料性） 部分预应力实心方桩构造示意图..... 39

附 录 D （资料性） 预应力实心方桩接桩示意图..... 40

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。

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：江苏省建筑设计研究院股份有限公司、江苏力引建材科技股份有限公司、江苏山海新型建材股份有限公司、建华建材（中国）有限公司、江苏天海建材有限公司、苏州三和管桩有限公司。

本文件主要起草人：金如元、郭健、李卫平、陶景晖、朱文运、陈孝虎、谢朝辉、梁少杰、顾东东、郑赛荣、顾明、周兆弟、齐金良、袁红星。

预应力混凝土实心方桩基础技术规程

1 范围

本文件规定了预应力混凝土实心方桩的分类、设计、计算、生产制作、施工、检测与验收等内容。本文件适用于建筑工程中采用预应力混凝土实心方桩的设计、施工、质量检验与验收。对铁路、公路、港口、码头、水利等工程中使用预应力混凝土实心方桩，应符合国家现行有关标准的规定。

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。

GB50011 建筑抗震设计规范
GB50007 建筑地基基础设计规范
GB50010 混凝土结构设计规范
GB50046 工业建筑防腐蚀设计标准
JGJ94 建筑桩基技术规范
JGJ120 建筑基坑支护技术规程
JGJ107 钢筋机械连接技术规程
JGJ106 建筑基桩检测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

先张法预应力混凝土实心方桩（简称“预应力实心方桩”） **pretensioning prestressed concrete solid square pile**

指采用先张法工艺成型的预应力混凝土方形截面实心桩，简称“预应力实心方桩”。

3.2

先张法部分预应力混凝土实心方桩（简称“部分预应力实心方桩”） **pretensioning partially prestressed concrete solid square pile**

指采用先张法工艺成型，纵向钢筋采用预应力钢筋和非预应力钢筋混合布置的预应力混凝土方形截面实心桩，简称“部分预应力实心方桩”。

3.3

预应力混凝土异型实心方桩 **prefabricated special-shaped square piles of prestressed concrete**

指桩身沿长度方向有等间隔突起的变截面预应力混凝土实心方桩。

3.4

预应力实心方桩基础 **prestressed solid square pile foundation**

预应力实心方桩和连接于桩顶的承台共同组成的建（构）筑物基础。

3.5

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土（岩）层的施工方法。

3.6

收锤标准 condition for stoping hammering

将桩端打至预定深度附近时终止锤击的控制条件。

3.7

终压标准 condition for stoping pressing

静压桩达到设计要求时终止压桩的控制条件。

3.8

单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of a single 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，它取决于土对桩的支承阻力和桩身强度控制的承载力。。

3.9

极限侧阻力 ultimate shaft resistance

相应于桩顶作用极限荷载时，桩身侧表面所发生的岩土阻力。

3.10

极限端阻力 ultimate tip resistance

相应于桩顶作用极限荷载时，桩端所发生的岩土阻力。

3.11

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。

3.12

负摩阻力 negative skin friction

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。

4 预应力实心方桩基础设计与计算

4.1 一般规定

4.1.1 岩土工程勘察报告在满足相关规范的前提下，报告中应对拟采用预制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。

4.1.2 预应力实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：预应力实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：预应力实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。

4.1.3 预应力实心方桩基础设计应根据建筑规模、功能特征、对差异变形的适应性、场地地基和建筑物体形的复杂性以及由于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 4.1.3 确定设计等级。

表 4.1.3 预应力实心方桩基础设计等级

| 设计等级 | 建筑类型 |
|------|---|
| 甲级 | (1) 重要的建筑 (2) 30 层以上或高度超过 100m 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）连体建筑 (4) 20 层以上框架-核心筒结构及其他对差异沉降有特殊要求的建筑 (5) 场地和地基条件复杂的 7 层以上的一般建筑及坡地、岸边建筑 (6) 对相邻既有工程影响较大的建筑 |
| 乙级 | 除甲级、丙级以外的建筑物 |
| 丙级 | 场地和地基条件简单、荷载分布均匀的 7 层及 7 层以下的一般建筑 |

注：桩基础的安全等级不得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。

4.1.4 预应力实心方桩基础应按照《建筑桩基技术规范》JGJ94 的相关规定承载力计算和稳定性验算，当桩端平面以下存在软弱下卧层时，尚应进行软弱下卧层承载力验算，抗震验算应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

4.1.5 下列预应力实心方桩基础应按照《建筑桩基技术规范》JGJ94 和《建筑地基基础设计规范》GB50007 的相关规定进行沉降计算。

- a) 设计等级为甲级的非嵌岩桩和非深厚坚硬持力层的预应力实心方桩基础。
- b) 设计等级为乙级的体型复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的预应力实心方桩基础。

4.1.6 对受水平荷载较大，或对水平位移有严格限制的预应力实心方桩基础，应按照《建筑桩基技术规范》JGJ94 的相关规定计算其水平位移。

4.1.7 应根据预应力实心方桩基础所处的环境类别和相应的裂缝控制等级，对桩身进行抗裂验算，裂缝宽度控制应符合《混凝土结构设计规范》GB50010。

4.1.8 预应力实心方桩基础应综合考虑设计使用年限、环境类别规定以及水、土对钢材、混凝土腐蚀性进行耐久性设计，桩基设计使用年限不得低于上部结构设计使用年限。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《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定，四类和五类环境桩基结构混凝土耐久性设计可按本规程第 4.8 节及《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ267、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB50046 等规范的相关要求执行。

4.1.9 预应力实心方桩用于基坑支护工程时，其荷载、结构分析和稳定性验算，应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定。

4.2 预应力实心方桩的分类、选用与布置

4.2.1 预应力实心方桩的适用范围：

- a) 预应力实心方桩适用于下列条件：
 - 1) 抗震设防烈度为 8 度（0.3g）及以下地区的一般工业与民用建（构）筑物基础工程中主要承受竖向受压、竖向受拉的低承台桩基；
 - 2) 一般工业与民用建（构）筑物的基坑围护及护坡工程中主要承受水平荷载的支护桩；
 - 3) 素填土、杂填土、淤泥质土、粉土、粘性土、稍密及中密的砂土等场地；
 - 4) 微腐蚀性、弱腐蚀场地；特殊情况下，具有中等及以上腐蚀场地若需采用预应力实心方桩基础，应按照本规程第 4.8 节及相关规范进行专门防腐蚀设计。

- b) 下列条件下不宜采用预应力实心方桩：
 - 1) 岩面埋藏较浅且倾斜度较大的场地；
 - 2) 基岩面以上没有合适持力层的岩溶、土洞发育地区；
 - 3) 方桩沉桩施工对周边环境有严重影响时；
 - 4) 地下水或场地土对方桩的混凝土、钢筋及外露铁件有强腐蚀作用的场地；
 - 5) 位于坡地、岸边的承受较大水平荷载的桩基工程。

4.2.2 预应力实心方桩的选用应综合分析下列因素：

- a) 建筑场地条件，包括地上及地下管线、地下原有基础的情况、地形地貌和地质情况；
- b) 周边环境条件，包括周边的建筑、道路、市政管网等、分析沉桩过程中的振动、挤土可能产生的负面影响。
- c) 拟建建筑物上部结构体系、层数及荷载、基础沉降及水平位移的要求，抗震设防要求。
- d) 沉桩设备性能及其对场地条件的适应性。
- e) 桩的规格、单节长度、接头数及供应条件。

4.2.3 预应力实心方桩的分类：

- a) 预应力实心方桩按纵向钢筋类型分类，纵向钢筋均为预应力钢筋的是全预应力实心方桩（代号 YRS），纵向钢筋采用预应力钢筋和非预应力钢筋混合布置的是部分预应力实心方桩（代号 PRS）。
- b) 预应力实心方桩按混凝土强度等级分为：预应力混凝土实心方桩（代号 YRS、PRS）、预应力高强混凝土实心方桩（代号 HYRS、HPRS）。YRS 桩及 PRS 桩混凝土强度等级不得低于 C50，HYRS 桩及 HPRS 桩混凝土强度等级不得低于 C60。
- c) 预应力实心方桩根据接桩方式及纵筋锚固方式，可分为焊接连接预应力实心方桩（代号同 3.2 条）和机械连接预应力实心方桩（代号 T-YRS、T-HYRS）。
- d) 预应力实心方桩按沿桩身长度方向外观的变化，可分为等截面预应力实心方桩和变截面异型预应力实心方桩；按桩身截面形状，可分为方桩和切角方桩。
- e) 预应力实心方桩按桩身配筋量的不同可分为 A 型、B 型两种类型。
- f) 预应力实心方桩按其截面边长分为：300mm，350mm，400mm，450mm，500mm，550mm，600mm 等规格。其中 300mm 边长的预应力实心方桩仅适用于地基处理、既有基础加固和构筑物。

4.2.4 预应力实心方桩的选用应符合下列要求：

- a) 预应力实心方桩用做摩擦桩或端承摩擦桩且穿越的硬土层较薄时，可选用 A 型桩；当用做端承桩或摩擦端承桩且需穿越一定厚度较硬土层时，宜选用 B 型桩，其长径比（桩总长/桩边长）不宜大于 100。
- b) 抗震设防烈度为 8 度的高烈度地区及软土地基、液化土层宜采用 B 型且边长不小于 400 mm 的预应力实心方桩，当穿越厚度较大的淤泥质土等软弱土层，复核方桩承载力时应考虑桩身稳定对其承载力的影响。
- c) 弱、中腐蚀环境场地及工程地质条件较复杂的预应力实心方桩基础工程，宜选用 B 型桩。
- d) 预应力实心方桩用做抗拔桩时，桩身混凝土强度等级不应小于 C60。

4.2.5 预应力实心方桩的布置应符合下列要求：

- a) 预应力实心方桩的最小中心距应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 预应力实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 根的摩擦型桩桩基 | 其他情况 |
|---------|-------------|--------------------------------|--------------|
| 部分挤土桩 | 非饱和土、饱和非粘性土 | 3.5 <i>B</i> | 3.0 <i>B</i> |
| | 饱和粘性土 | 4.0 <i>B</i> | 3.5 <i>B</i> |
| 挤土桩 | 非饱和土、饱和非粘性土 | 4.0 <i>B</i> | 3.5 <i>B</i> |
| | 饱和粘性土 | 4.5 <i>B</i> | 4.0 <i>B</i> |

- 注：1 桩的中心距指两根桩横截面中心点之间的距离，*B* 为预应力实心方桩边长。
- 2 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。
- 3 当桩穿越较厚淤泥质等软弱土层，桩中心距不宜小于 4.5*B*。
- 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) 软土地基基坑开挖时，应防止土体侧移对桩产生不良影响，并考虑基坑挖土顺序和控制分层开挖厚度；在软土地基上大面积布桩时，应采取消减孔隙水压力和挤土效应的技术措施，并控制布桩密度，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的影响，并采取相应的技术措施。
- 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、坚硬粘性土层、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）应符合下列规定：对粘性土、粉土，不宜小于 2*B*；砂土不宜小于 1.5*B*；碎石类土不宜小于 1*B*。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于 3*B*。
- e) 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 (2~3)*B*，对其他非岩石土尚不宜小于 (4~5)*B*。

4.3 预应力实心方桩基础构造

4.3.1 预应力实心方桩桩身钢筋应符合下列规定：

- a) 纵向钢筋应采用预应力钢筋，或采用预应力筋与非预应力钢筋的混合布筋方式，纵向钢筋的最小配筋率不宜小于 0.5%，主筋直径不宜小于 9.0mm，且不应少于 8 根，纵向钢筋的保护层厚度不应小于 40mm，允许偏差+5mm，用于特殊环境保护层厚度应符合相关标准规定。
- b) 预应力实心方桩箍筋宜采用螺旋式，两端螺旋筋加密区长度应符合本规程表 5.3.2-1 的要求；加密区螺旋箍筋的间距不应大于 50mm，非加密区螺旋箍筋的间距不应大于 100mm；间距的允许偏差均为±5mm。
- c) 部分预应力实心方桩采用预应力筋与非预应力筋的混合布筋方式，预应力筋与非预应力筋宜按照 1:1 间隔对称布置。非预应力钢筋屈服强度标准值不应低于 400MPa，其总数量不应少于预应力筋数量的 50%，直径不宜小于 10mm 且不应小于预应力筋直径。
- d) 预应力混凝土实心方桩的纵向主筋应通长布置，严禁接头。

4.3.2 无端板机械连接预应力实心方桩桩头应符合下列规定：

- a) 桩头应设置钢套箍，套箍板厚度不宜小于 4mm，宽度不宜小于 100mm。
- b) 桩头距桩顶 4 倍~5 倍边长范围内应设置箍筋加密，间距不应大于 50mm。

- c) 桩头应设置钢筋网片，静压桩网片数量不宜少于 2 层，锤击桩网片数量如表 4.3.2 所示，网片间距 60~100mm，网片钢筋直径不宜小于 6mm。

表 4.3.2 锤击桩桩头网片数量

| 边长 (mm) | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 网片层数 | ≥3 | ≥3 | ≥3 | ≥3 | ≥4 | ≥4 |

4.3.3 无端板机械连接预应力实心方桩的机械连接件，其混凝土保护层厚度应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的规定，且不应小于 0.75 倍钢筋最小保护层厚度和 15mm 的较大值，必要时可对连接件采取防锈措施。

4.3.4 预应力实心方桩采用长线台制作以及采用机械张拉套筒替代端板锚固预应力钢时，宜设置钢套箍，静压桩可不设端板而采用钢筋网片，锤击桩宜设置保护性端板，端板厚度需满足构造要求，不宜小于 10mm，端板应设置锚固筋与桩头紧密连接，锚固筋配筋率不宜小于 0.5%。

4.3.5 预应力实心方桩与承台的连接应符合下列规定：

- 桩顶嵌入承台内长度不宜小于 50mm。
- 承压方桩采用桩身内的纵向钢筋直接与承台锚固时，或另外设置的与桩头焊接(机械)连接的锚固钢筋与承台锚固时，非预应力筋锚固长度不得小于 35 倍钢筋直径。
- 抗拔方桩采用桩身内的纵向钢筋直接与承台锚固时，或另外设置的与桩头焊接(机械)连接的锚固钢筋与承台锚固时，锚固长度应按《混凝土结构设计规范》GB50010 的受拉锚固长度确定，且不得小于 1000mm。
- 桩身纵向钢筋采用预应力钢筋时，不得和非预应力锚固筋焊接，应预留足够长度的桩长，或通过转换机械套筒实现预应力钢筋和非预应力锚固筋的机械连接，转换机械套筒应满足《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。
- 承台非预应力锚固钢筋可通过连接板与端板焊接，也可以直接锚入机械连接(张拉)套筒内，锚入深度需满足受力要求，机械连接(张拉)套筒应满足《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。

4.3.6 预应力实心方桩接桩构造示意图详见附录 D，并应符合下列规定：

- 预应力实心方桩接桩处的强度和抗弯性能分别不得低于桩身强度和桩身抗弯性能，接桩宜在桩尖穿过硬土层后进行。
- 受压预应力实心方桩接头数量不应超过 3 个，可采用端板焊接连接，当处于中等腐蚀环境场地时宜采用机械连接或焊接—机械复合连接。
- 抗拔预应力实心方桩接头数量不应超过 1 个，可采用加强型焊接连接，宜采用机械连接、焊接—机械复合连接方式，抗拔桩接头应位于桩顶以下不小于 10m。当采用焊接连接时，除端板焊接连接外，宜采取增加角钢或钢板辅助焊接等加强措施；当采用机械连接接头时，机械连接接头受拉承载力设计值不应小于桩身受拉承载力设计值的 1.25 倍，受剪承载力设计值不应小于桩身受剪承载力设计值的 1.1 倍。
- 预应力实心方桩用于受压桩兼做抗拔桩时，每节桩都应满足抗拔设计要求，上下节桩间都应采用满足抗拔设计要求的连接方式，且抗拔承载力应由上部两节桩承担。
- 机械连接接头应符合耐腐蚀性及腐蚀裕量设计要求，详见本规程 4.8.7 条要求，设计使用年限不得低于主体结构设计使用年限，且不得低于 50 年。
- 持力层标准贯入击数大于 30 时，锤击沉桩不应利用截桩余下部分做接桩之用。

4.3.7 与预应力实心方桩基础连接的承台设计应符合《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ94 的相关规定。

4.4 承压方桩设计

4.4.1 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
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

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

- b) 水平力

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

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 —— 桩基中的桩数；

N_{ik} —— 荷载效应标准组合偏心竖向力作用下第 i 根基桩的竖向力；

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 根基桩至 y 、 x 轴的距离；

H_k —— 荷载效应标准组合下作用于桩基承台底面的水平力；

H_{ik} —— 荷载效应标准组合下作用于第 i 根基桩的水平力；

4.4.2 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《建筑抗震设计规范》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。

4.4.3 非液化土中及存在液化土层的桩基抗震验算，应按《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定执行。

4.4.4 在不考虑地震作用效应时，单桩承载力应符合下列规定：

- a) 轴心竖向力作用下：

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

- b) 偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

$$N_{ikmax} \leq 1.2R_a \dots\dots\dots (5)$$

- c) 水平荷载作用下：

$$H_{ik} \leq R_h \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中： R_a ——单桩竖向承载力特征值；

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

R_h ——单桩水平承载力特征值。

4.4.5 在考虑地震作用效应时，单桩承载力计算应符合下列规定：

a) 轴心竖向力作用下：

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \cdots \cdots \cdots (7)$$

b) 偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

$$N_{Ek \max} \leq 1.5R_a \cdots \cdots \cdots (8)$$

c) 水平荷载作用下：

$$H_{Ek} \leq 1.25R_h \cdots \cdots \cdots (9)$$

式中： R_a ——单桩竖向承载力特征值；

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

R_h ——单桩水平承载力特征值。

4.4.6 单桩竖向承载力特征值应按下列式确定：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \cdots \cdots \cdots (10)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

K ——安全系数，取值为 2。

4.4.7 设计采用的单桩竖向极限承载力标准值应符合下列规定：

a) 设计等级为甲级的建筑桩基，应通过单桩静载试验确定。

b) 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；其余均应通过单桩静载试验确定。

c) 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。

d) 当采用静载试验法确定桩基承载力时，在同一条件下的试桩数量不宜少于总桩数的 1%，并不少于 3 根；总桩数少于 50 根的，不少于 2 根。

4.4.8 设计采用的预应力实心方桩单桩竖向极限承载力标准值可按以下方法确定。

a) 根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定方桩竖向极限承载力标准值时，宜按下式估算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_{pk} \cdots \cdots \cdots (11)$$

式中： Q_{sk} 、 Q_{pk} ——分别为总极限侧阻力标准值和总极限端阻力标准值；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，无当地经验时，可按现行行业标准

《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的混凝土预制桩极限侧阻力标准值取值；

q_{pk} ——桩极限端阻力标准值（kPa），无当地经验时，可按现行行业标准《建

筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的混凝土预制桩极限端阻力标准值取值；

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, 对于变截面桩应按最小截面计算横截面面积;;

u ——桩身外周边长度, 对于变截面桩应按最小截面计算周长;

l_i ——桩穿越第 i 层土(岩)的厚度。

- b) 根据双桥探头静力触探资料确定方桩竖向极限承载力标准值时, 对于黏性土、粉土和砂土, 如无当地经验时可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum l_i \cdot \beta_i \cdot f_{si} + \alpha \cdot q_c \cdot A_{pk} \cdots \cdots (12)$$

式中: f_{si} ——第 i 层土的探头平均侧阻力 (kPa);

α ——桩端阻力修正系数, 对于黏性土、粉土取 2/3, 饱和砂土取 1/2;

q_c ——桩端平面上、下探头阻力, 取桩端平面以上 $4d$ (d 为桩的边长) 范围内按土层厚度的探

头阻力加权平均值 (kPa), 然后再和桩端平面以下 $1d$ 范围内的探头阻力进行平均;

β_i ——第 i 层土桩侧阻力综合修正系数, 黏性土、粉土: $\beta_i = 10.04(f_{si})^{-0.55}$; 砂土: $\beta_i = 5.05(f_{si})^{-0.45}$ 。

4.4.9 除按地基岩土条件确定预应力实心方桩的竖向承载力特征值外, 桩身混凝土强度应满足桩的受压承载力设计要求。对于轴向受压的方桩, 当不考虑桩身构造配筋的作用时, 应符合下列规定:

$$Q \leq R_p \cdots \cdots (13)$$

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。

4.4.10 现场试验单桩水平承载力不得大于桩身受剪承载力。单桩水平静载试验应按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 相关规定执行, 试验数量同竖向载荷试验。

4.4.11 预应力实心方桩基础承台的构造及配筋、承台与承台之间的连接构造应满足受冲切、受剪切、受弯承载力和局部受压要求。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。

4.4.12 对有可能出现负摩阻力的预应力实心方桩基础, 可通过以下措施避免或减少负摩阻力:

- 对于填土建筑场地, 宜先填土并保证填土的密实性, 软土地场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成桩。
- 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。
- 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。
- 对于中性点以上的桩身可对表面进行处理, 以减少负摩阻力。
- 应采取引孔或应力释放孔等消减超孔隙水压力, 以及控制沉桩速率等措施减少挤土效应。

4.5 抗拔方桩设计

4.5.1 承受拔力的预应力实心方桩基础, 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:

$$N_{1k} \leq T_{gk}/2 + G_{gp} \cdots \cdots (14)$$

$$N_{1k} \leq T_{uk}/2 + G_p \dots\dots\dots (15)$$

式中： N_{1k} —— 按荷载效应标准组合计算的基桩拔力；
 T_{gk} —— 群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值，可按本规程第 4.5.2 条确定；
 T_{uk} —— 群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值，可按本规程第 4.5.2 条确定；
 G_{sp} —— 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；
 G_p —— 基桩自重，地下水位以下取浮重度。

4.5.2 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。试桩数量不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不少于 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《建筑基桩检测技术规范》 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下式计算：

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

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，若无经验数据，可按表 4.5.2 取值。

表 4.5.2 抗拔系数 λ_i

| 土 (岩) 的类别 | λ_i |
|-------------|-------------|
| 强风化岩、花岗岩残积土 | 0.50~0.70 |
| 砂土 | 0.50~0.70 |
| 粘性土、粉土 | 0.70~0.80 |

注：桩长 l 与截面边长 B 之比小于 20 时， λ_i 取小值。

- 2) 群桩呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式计算：

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

式中： u_1 —— 桩群外围周长。

4.5.3 预应力实心方桩用做抗拔桩时，应进行桩身结构强度、接桩连接强度、端板孔口受剪强度、钢棒及其锚头受拉强度、桩顶与承台连接处强度等承载力计算。确定单桩抗拔承载力时，应分别按下列规定计算，并按最不利处的抗拉强度确定抗拔方桩的受拉承载力。

- a) 轴心抗拔方桩的正截面受拉承载力应符合下式规定：

$$N_1 \leq f_y A_s + f_{py} A_p \dots\dots\dots (18)$$

式中： N_1 —— 荷载效应基本组合下桩顶轴向拉力设计值；
 f_y 、 f_{py} —— 普通钢筋、预应力钢筋的抗拉强度设计值；

A_s 、 A_p ——普通钢筋、预应力钢筋的截面面积。

b) 对于抗拔方桩的裂缝控制计算, 应按下式确定:

1) 预应力实心方桩处于腐蚀环境或设计严格要求不出现裂缝时:

$$N_1 \leq \sigma_{pc} A \cdots \cdots (19)$$

式中: σ_{pc} ——方桩混凝土有效预压应力;

A ——方桩横截面面积。

2) 预应力实心方桩处于一般环境或设计一般要求不出现裂缝时:

$$N_1 \leq (\sigma_{pc} + f_t) A \cdots \cdots (20)$$

式中: f_t ——桩身混凝土轴心抗拉强度设计值。

c) 根据预应力实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《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 等相关规范规定进行计算, 焊接连接可按式下式计算:

1) 端板焊接连接:

$$N_1 \leq 4aB_w f_t^w \cdots \cdots (21)$$

式中: B_w ——方桩焊缝边长 (mm), 取 $B_w = B_1 - a$;

B_1 ——端板边长 (mm);

a ——端板焊缝径向厚度 (mm);

f_t^w ——端板焊缝抗拉强度设计值 (MPa)。

2) 辅助角钢焊接连接:

$$N_1 \leq 8h_e l_w f_f^w \cdots \cdots (22)$$

式中: l_w ——角钢焊缝边长 (mm);

h_e ——角焊缝计算厚度 (mm);

f_f^w ——角焊缝强度设计值。

d) 根据预应力实心方桩端板孔口 (预应力筋锚头锚固处, 图 4.5.3) 抗剪强度确定单桩抗拔承载力时, 按式 (23) 计算:

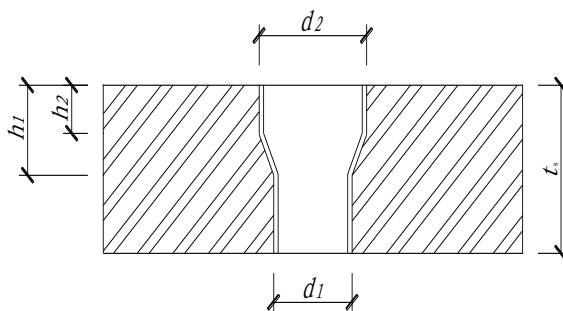


图 4.5.3 端板与预应力钢筋连接示意图

$$N_1 \leq n\pi \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \left(t_s - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) f_v \cdots \cdots (23)$$

式中： n ——预应力钢筋数量(根)；
 d_1 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口直径(mm)；
 d_2 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口直径(mm)；
 h_1 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口距端板顶距离 (mm)；
 h_2 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口距端板顶距离 (mm)；
 f_v ——端板抗剪强度设计值 (MPa)；
 t_s ——端板厚度。

e) 当根据预应力钢筋锚头抗拉强度确定单桩抗拔承载力时，按下式计算：

$$N_1 \leq 0.90 f_{py} A_p \dots\dots\dots (24)$$

式中： n ——预应力钢筋数量(根)；
 N_1 ——方桩单桩上拔力设计值；
 f_{py} ——预应力钢筋抗拉强度设计值 (MPa)；
 A_p ——预应力钢筋总横截面面积 (mm²)。

4.5.4 预应力实心方桩的抗拔承载力应取本规程第 4.5.2 条和第 4.5.3 条各式计算的最小值。

4.6 抗水平力预应力实心方桩设计

4.6.1 受水平荷载的一般建筑物和水平荷载较小的高大建筑物，应按下列公式计算群桩中基桩或复合基桩的桩顶作用效应：

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \dots\dots\dots (25)$$

式中： H_k ——荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力；
 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。

4.6.2 预应力实心方桩水平承载力计算应符合下列规定：

a) 荷载标准组合：

$$H_{ik} \leq R_h \dots\dots\dots (26)$$

b) 地震作用荷载效应和荷载效应标准组合：

$$H_{Ek} \leq 1.25 R_h \dots\dots\dots (27)$$

式中： H_{ik} ——在荷载效应标准组合下，作用于第 i 根基桩桩顶处的水平力；
 R_h ——单桩竖向承载力特征值；
 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。

4.6.3 单桩水平承载力特征值取决于桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值和桩顶嵌固情况等因素，应通过现场水平荷载试验确定。必要时可进行带承台桩的载荷试验，试验时采用慢速维持荷载法。现场试验单桩水平承载力不得大于桩身受剪承载力。

4.6.4 当桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少水平静载试验资料时，可按《建筑桩基技术规范》JGJ94 的相关公式估算。

4.6.5 预应力实心方桩用于基坑支护工程的排桩时，主要承受水平荷载，其水平承载力、变形控制及稳定性验算还应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定。

4.7 桩身承载力计算

4.7.1 根据预应力实心方桩的力学性能要求, 需要计算其有效预压应力、桩身正截面开裂弯矩、桩身正截面受弯承载力、桩身轴心受压承载力、桩身轴心受拉承载、按裂缝控制的桩身轴心抗拉力、桩身斜截面受剪承载力。

4.7.2 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) 不考虑方桩压屈影响时, 应按下式计算:

$$R_p = \psi_c f_c A \dots\dots\dots (28)$$

式中: f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值, 按《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定取值;

A —— 方桩横截面面积;

ψ_c —— 预应力实心方桩工作条件系数, 取 0.55~0.65, 可结合地区经验和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定进行验算后综合确定。

b) 当预应力实心方桩穿越液化土、淤泥、淤泥质土或不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层的方桩基础, 应考虑方桩压屈的影响, 按下式计算:

$$R_p = \varphi \psi_c f_c A \dots\dots\dots (29)$$

式中: φ —— 预应力实心方桩受压稳定系数, 按《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定取值。

4.7.3 预应力实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, 按照现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定计算。根据预应力实心方桩的生产工艺特点, 预应力损失一般考虑方桩中预应力钢筋由于锚夹具变形和钢棒内缩引起的预应力损失值 σ_{l1} 、预应力钢筋的应力松弛引起的预应力损失 σ_{l4} 、混凝土收缩、徐变引起的预应力损失 σ_{l5} 。

a) 张拉端锚具变形和钢筋内缩引起的预应力损失值按下列公式计算:

$$\sigma_{l1} = \frac{\alpha}{l} E_s \dots\dots\dots (30)$$

式中: α —— 张拉端锚具变形和钢筋内缩值 (mm);

l —— 张拉端至锚固端之间的距离 (mm);

E_s —— 预应力钢筋的弹性模量 (N/mm²)。

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下列公式计算:

$$\sigma_{l4} = 0.2 \left(\frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.5 \right) \sigma_{con} \dots\dots\dots (31)$$

式中: σ_{con} —— 预应力钢筋张拉控制力 (N/mm²);

f_{ptk} —— 预应力钢筋极限强度标准值 (N/mm²)。

c) 混凝土收缩、徐变引起的预应力损失值按下列公式计算:

$$\sigma_{l5} = \frac{60+340 \frac{\sigma_{pc1}}{f'_{cu}}}{1+15\rho} \dots\dots\dots (32)$$

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 (N/mm²);

$$\sigma_{pc1} = (\sigma_{con} - \sigma_{l1} - \sigma_{l4}) A_p / A_0$$

f'_{cu} —— 施加预应力时的混凝土立方体抗压强度 (N/mm²);

ρ —— 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;

A_p —— 预应力钢筋总截面面积 (mm²);

A_0 ——桩身换算横截面面积 (mm^2)。

d) 总预应力损失:

$$\sigma_l = \sigma_{l1} + \sigma_{l4} + \sigma_{l5} \dots\dots\dots (33)$$

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

e) 预应力钢筋的有效预拉应力值应按下列公式计算:

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sigma_l \dots\dots\dots (34)$$

f) 混凝土的有效预压应力值应按下列公式计算:

$$\sigma_{pc} = \frac{\sigma_{pe} A_p}{A_0} \dots\dots\dots (35)$$

4.7.4 桩身正截面开裂弯矩计算:

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + \gamma f_{tk}) W_0 \dots\dots\dots (36)$$

$$\gamma = \left(0.7 + \frac{120}{h}\right) \gamma_m \dots\dots\dots (37)$$

式中: M_{cr} ——预应力混凝土实心方桩桩身正截面开裂弯矩 (MPa);

f_{tk} ——方桩混凝土抗拉强度标准值 (N/mm^2);

W_0 ——预应力混凝土方桩受拉边缘弹性抵抗矩换算值 (mm^3);

γ ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数;

γ_m ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数基本值, 预应力实心方桩取 1.55。

4.7.5 桩身正截面受弯承载力设计值按下列规定计算:

a) 混凝土受压区高度符合下列条件时:

$$x \leq \xi_b h_0 \dots\dots\dots (38)$$

$$x \geq 2a' \dots\dots\dots (39)$$

受弯承载力设计值按下式计算:

$$M_u = \Sigma \left[f_{py} A_{pi} \left(h_{pi} - \frac{x}{2} \right) + f_y A_{si} \left(h_{si} - \frac{x}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (40)$$

混凝土受压区高度按下列公式确定:

$$\alpha_1 f_c b x = \Sigma f_{py} A_{pi} + \Sigma f_y A_{si} - \Sigma f'_y A'_{si} + \Sigma (\sigma'_{p0} - f'_{py}) A'_{pi} \dots\dots\dots (41)$$

b) 当 $x \leq 2a'$ 时, 受弯承载力设计值按下式计算:

$$M = [f_{py} \Sigma A_{pi} (h_{pi} - a') + f_y \Sigma A_{si} (h_{si} - a')] \dots\dots\dots (42)$$

式中: M ——桩的正截面受弯弯矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$);

α_1 ——系数, 按《混凝土结构设计规范》GB50010—2010 第 6.2.6 条规定计算, C50 取 1.0, C60 取 0.98;

f_y 、 f'_y ——普通钢筋的抗拉、强度设计值 (MPa);

f_{py} 、 f'_{py} ——预应力钢筋的抗拉、强度设计值 (MPa);

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa);
 σ_{pi} ——第 i 排预应力钢筋的计算应力值 (MPa);
 σ_{p0} ——受压区纵向预应力筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力值 (MPa);
 A_{si} 、 A'_{si} ——第 i 排受拉、受压普通钢筋的截面积 (mm^2);
 A_{pi} 、 A'_{pi} ——第 i 排受拉、受压预应力钢筋的截面积 (mm^2);
 h_0 ——截面有效高度 (mm);
 h_{si} ——第 i 排普通钢筋距离混凝土受压区外边缘的距离 (mm);
 h_{pi} ——第 i 排预应力钢筋距离混凝土受压区外边缘的距离 (mm);
 x ——混凝土受压区高度 (mm);
 ξ_b ——相对界限受压区高度;
 a' ——受压区纵筋合力点至截面受压边缘的距离 (mm);
 b ——桩的外边长 (mm)。

4.7.6 桩身正截面受弯承载力检验值按下列规定计算:

$$M_u = [\gamma_u]M \dots\dots\dots (43)$$

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

4.7.7 桩身正截面受剪承载力检验值按下列规定计算:

$$V = \frac{1.75}{\lambda+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \sin \theta + 0.05 \sigma_{pc} A_0 \dots\dots\dots (44)$$

式中: f_t —— 混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2);

b —— 方桩截面边长 (mm);

h_0 —— 截面有效高度 (mm);

f_{yv} —— 箍筋强度设计值 (MPa);

A_{sv} —— 配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积 (mm^2);

s —— 沿方桩长度方向的箍筋间距 (mm);

θ —— 箍筋与纵向轴线的夹角 ($^\circ$);

λ —— 计算截面剪跨比, 可取 $\lambda = a/h_0$, a 取集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离。当方桩用于试验检测, λ 小于 1.5 时取 1.5; 当方桩用于实际工程, 处于弯剪工作受力状态, λ 大于 3 时取 3。

4.7.8 桩身正截面受剪承载力极限值按下列规定计算:

$$V_u = [\gamma_u]V \dots\dots\dots (45)$$

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

4.7.9 桩身正截面受拉承载力设计值按式 (18) 计算, 按裂缝控制的桩身轴心抗拉力按式 (19) 计算。

4.7.10 变截面异型方桩沿纵向截面尺寸变化, 其桩身受压、受拉、受弯、受剪承载力应取最不利截面 (最小截面) 处进行计算。

4.7.11 预应力实心方桩的桩身承载力计算结果详见附录 E, 部分预应力实心方桩的桩身承载力计算结果详见附录 F。

4.8 预应力实心方桩防腐设计

4.8.1 污染土和地下水对钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩的腐蚀性等级，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的有关规定确定。

4.8.2 预应力实心方桩防腐设计的材料应满足下列要求：

- a) 混凝土的砂、石应致密，可采用花岗岩、石英石或石灰石，但不得采用有碱骨料反应的活性骨料。
- b) 掺入混凝土的外加剂对混凝土的性能应无不利影响，对钢筋不得有腐蚀作用，其使用方法、掺量和耐腐蚀性能应符合有关标准的规定。
- c) 混凝土选用的硅酸盐水泥宜掺入矿物掺合料，普通硅酸盐水泥可掺入矿物掺合料。
- d) 受碱液作用的混凝土不得选用高铝水泥或以铝酸盐成分为主的膨胀水泥。
- e) 在硫酸盐腐蚀条件下的水泥和矿物掺合料中，不得加入石灰石粉。

4.8.3 预应力实心方桩桩身混凝土防腐设计的基本要求应符合表 4.8.3 的规定。

表 4.8.3 桩身混凝土基本要求

| 最大水胶比 | 抗渗等级 | 钢筋最小保护层厚度 | 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 ） |
|-------|------|-----------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 0.4 | ≥P10 | 45 | ≤0.06 | ≤3.0 | 400 |

注：表中所列基本要求为设计使用年限为 50 年。

4.8.4 预应力实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 4.8.4 的规定，在弱腐蚀环境中可不采取防护措施。

表 4.8.4 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 | 提高混凝土耐久性能 | 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 | — | — | ≥30 | ≥20 |
| 3 | 表面涂刷防腐涂层厚度(μm) | | ≥500 | ≥300 | ≥500 | ≥300 | ≥500 | ≥300 |

注：1 本表适用设计使用年限为 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。

2 桩身混凝土材料可根据防腐要求，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 2 和 3 的技术措施。

- 3 不得采用亚硝酸盐类的阻锈剂。
 - 4 桩身涂刷防腐涂层的长度，应大于污染土层的厚度。
 - 5 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。
 - 6 表中“—”表示可不采用此指标控制。
- 4.8.5 预应力实心方桩耐久性应满足建（构）筑物使用年限要求，按照《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476 相关要求，应符合表 4.8.5 的规定；预应力实心方桩用混凝土的耐久性试验方法应按照现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准》GB/T 50082 的规定执行。

表 4.8.5 桩身混凝土耐久性指标

| 环境类别 | 混凝土电通量值 (C) | 氯离子迁移系数 D_{RCM} ($10^{-12}m^2/s$) | 抗硫酸盐等级 | 抗冻耐久性指数 DF% |
|----------------|----------------|--|--------|----------------|
| III-C | ≤1000 | ≤6.0 | — | — |
| III-D | ≤800 | ≤4.0 | — | — |
| V-C | ≤1000 | ≤6.0 | ≥KS120 | — |
| V-D | ≤800 | ≤4.0 | ≥KS150 | — |
| II-C、II-D、IV-C | ≤1000 | ≤6.0 | — | ≥60 |
| II-E、IV-D | ≤800 | ≤4.0 | — | ≥60 |
| IV-E、V-E | ≤600 | ≤3.0 | ≥KS150 | ≥80 |

- 注：1 表中混凝土耐久性指标为设计使用年限 50 年。
- 2 表中环境类别详见《混凝土结构耐久性设计标准》GB/ T 50476 相关规定。
- 4.8.6 当预应力实心方桩处于腐蚀环境中，地下水或场地土对桩身的混凝土、钢筋和外露钢构件有中度及以上腐蚀作用时，其防腐措施应符合下列规定：
- a) 预应力主筋的保护层厚度均不应小于 45mm，桩身混凝土强度等级不应低于 C50，抗渗等级不应低于 P10，预应力钢筋直径不应小于 10.7mm，螺旋箍筋直径不应小于 5mm。
 - b) 在硫酸盐腐蚀环境下应用的预应力实心方桩，桩身混凝土应优先采用抗硫酸盐硅酸盐水泥，或掺入抗硫酸盐外加剂，或掺加矿物掺和料。在氯离子腐蚀环境下应用的预应力实心方桩，应掺加钢筋阻锈剂（但不得采用亚硝酸盐类的阻锈剂）和矿物掺和料。当有多类介质同时作用时，应分别满足各自的防护要求，但相同的防护措施不叠加。
 - c) 当桩身混凝土采用或掺入耐腐蚀材料后不能满足防腐性能要求时，可采用混凝土表面涂刷防腐涂层的措施，但在吊运及沉桩过程中需做好防护，避免涂层脱落。
- 4.8.7 中度及以上腐蚀环境，预应力实心方桩接桩应符合下列规定。
- a) 应减少接桩数量，宜采用单节桩，当采用多节桩时接头宜位于非腐蚀性土层中。
 - b) 接桩宜采用机械连接的接桩方式，优先采用焊接—机械连接的复合接桩方式，如附录 D 所示。
 - c) 无端板机械连接接头，宜涂抹环氧树脂密封胶密封；有端板机械连接接头，外露的接桩钢零件腐蚀性土壤直接接触，应采取有效的防腐措施，如增加 2mm 钢零件厚度和焊缝厚度的腐蚀裕量，并涂刷防腐耐磨涂层 500 μm 或增加热收缩聚乙烯套膜、纤维布围贴，等。
- 4.8.8 当预应力实心方桩的表面涂有防腐涂料时，竖向极限承载力应通过试验确定；在确定承载力时，亦可不计入涂层范围内的桩侧阻力。
- 4.8.9 在弱腐蚀、中等腐蚀环境下使用的预应力实心方桩，其桩身裂缝控制等级应为一级。方桩沉桩

过程中应做好桩体的保护，不得损伤桩体。

5 预应力实心方桩的制作、构造和质量要求

5.1 原材料

5.1.1 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，其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

5.1.2 骨料：

- a) 细骨料宜采用洁净的天然硬质中粗砂或人工砂，细度模数宜为 2.5~3.2，采用人工砂时，细度模数可为 2.5~3.5，其质量应符合《建设用砂》GB/T14684 的有关规定。砂的含泥量应不大于 1%。砂的氯离子含量应不大于 0.01%，硫化物及硫酸盐含量应不大于 0.5%。
- b) 粗骨料宜采用碎石或破碎的卵石，其最大粒径不应大于 25mm，且不应超过钢筋净距的 3/4，针片状颗粒不宜超过 5%，岩石抗压强度宜大于所配混凝土强度的 1.5 倍，压碎指标不应大于 10%。粗骨料的含泥量不应大于 0.5%，硫化物及硫酸盐含量不应大于 0.5%。粗骨料的其它质量应符合《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的有关规定。
- c) 对于有抗腐蚀或其他特殊要求的预应力实心方桩，其所使用的骨料应符合相关标准的规定。

5.1.3 混凝土拌和用水的质量应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

5.1.4 外加剂质量应符合《混凝土外加剂》GB 8076 的规定，严禁使用氯盐类外加剂，宜优先采用高效减水剂。

5.1.5 掺和料宜采用硅砂粉、矿渣微粉、粉煤灰、硅灰或蒸养混凝土制品用掺合料，硅砂粉的质量应符合《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》JC/T950 的有关规定；矿渣微粉的质量不应低于《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046 中 S95 级的有关规定；粉煤灰的质量不低于《用于水泥和混凝土的粉煤灰》GB/T1596 中 II 级 F 类的有关规定；硅粉的质量应符合《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T18736 的有关规定；蒸养混凝土制品用掺合料的质量应符合《蒸养混凝土制品用掺合料》JC/T 2554 的有关规定。当采用其他品种的掺合料时，应通过试验鉴定，确认符合预应力实心方桩混凝土质量要求时，方可使用。

5.1.6 预应力实心方桩桩身混凝土氯离子含量不得超过 0.06%，碱含量不得超过 $3\text{kg}/\text{m}^3$ ，环境等级为二 a 时水胶比不得超过 0.55，环境等级为二 b 时水胶比不得超过 0.50。

5.1.7 混凝土质量应符合《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定，预应力实心方桩混凝土强度等级不得低于 C50，预应力高强混凝土实心方桩混凝土强度等级不得低于 C60，其强度指标及弹性模量应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

5.1.8 钢材：

- 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《预应力混凝土用钢棒》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 5.1.8-1 和表 5.1.8-2 的要求。
- 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 $\sigma_{\text{con}}=0.7f_{\text{ptk}}$ ，其中 f_{ptk} 为钢筋的抗拉强度标准值。

表 5.1.8-1 预应力混凝土用钢棒的几何特性及理论质量

| 公称直径 (mm) | 基本直径及允许 偏差 (mm) | 公称截面积 (mm ²) | 理论质量 (kg/m) |
|--------------|--------------------|-----------------------------|----------------|
| 9.0 | 9.15±0.20 | 64.0 | 0.502 |
| 10.7 | 11.10±0.20 | 90.0 | 0.707 |
| 12.6 | 13.10±0.20 | 125.0 | 0.981 |

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，本规程均用公称直径表示。

2. 基本直径：钢筋的外接圆直径。
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，本规程均按公称截面面积计算。
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。

表 5.1.8-2 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) | 规定非比例 延伸强度 (N/mm ²) | 抗拉强度 设计值 f_{py} (MPa) | 抗压强度 设计值 f'_{py} (MPa) | 断后 延伸率 (%) | 弹性 模量 E_s (MPa) | 1000h 松驰值 (%) |
|----------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| ϕ^D | 1420 | 1280 | 1000 | 400 | ≥7.0 | 2.0×10^5 | ≤2.0 |
| | 1570 | 1420 | 1100 | | | | |

注：1. 螺旋槽钢棒规定非比例延伸强度不小于 1280MPa，断后伸长率不小于 7.0%。

2. 断后伸长率标距 L_0 为钢棒公称直径 d_n 的 8 倍，即取 $L_0=8d_n$ 。
- c) 螺旋箍筋宜采用甲级冷拔低碳钢丝，其质量应分别符合《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》JC/T 540 的相关规定，其力学性能应符合 5.1.8-3 规定。当用其它型号的钢材制作螺旋箍筋时，其力学性能应不低于甲级冷拔低碳钢丝和相关标准的规定。

表 5.1.8-3 甲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) | 180°反复弯曲 次数 | 延伸率 (%) | 弹性模量 E_s (MPa) |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|---------|---------------------|
| $\phi^b 4$ | ≥600 | ≥320 | ≥4 | ≥2.5 | 2.0×10^5 |
| $\phi^b 5 \sim \phi^b 8$ | | | | ≥3.0 | |

- d) 当吊环直径不大于 14mm 时，可采用 HPB300 级钢筋；当吊环直径大于 14mm 时，应采用 Q235B 圆钢。吊环严禁采用冷加工钢筋。
- e) 端板性能应符合《预应力离心混凝土空心方桩用端板》JC/T 2239 的规定，端板及桩套箍的材质性能应符合《碳素结构钢》GB/T 700 中 Q235B 的规定。
- 5.1.9 机械连接件的材质性能应符合《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077 的规定，接桩密封材料环氧树脂应符合《双酚 A 型环氧树脂》GB/T 13657 的规定。
- 5.1.10 所使用的原材料在预应力实心方桩制作前，其质量应按国家对各项材料的相关规定进行复检，确认符合预应力实心方桩制作质量要求后，方可使用。

5.2 生产和制作要求

5.2.1 预应力实心方桩的生产工艺根据模具（模台）长短可分为短线台制作及长线台制作。

- a) 短线台生产工艺要求同预应力空心截面桩，钢筋笼制作宜采用滚焊工艺，成型后吊入固定长度（一般 15m 左右）钢制模具内带模张拉，再进蒸养池蒸汽养护，无需离心，最大制作桩长受模具及蒸养池长度限制。
- b) 长线台制作，预应力钢筋在一定长度（不小于 100m）固定模台内利用反力架单根张拉，可自然养护，在满足运输、吊装要求情况下可根据设计需求分割、定制桩长，以减少接桩。

5.2.2 钢筋的加工应符合下列规定：

- a) 预应力实心方桩的纵向主筋应通长设置，严禁接头。
- b) 钢筋应清除油污，不应有局部弯曲，端面应平整，单根方桩同束预应力钢筋下料长度的相对误差参照《先张法预应力混凝土管桩》GB13476 对应要求执行；预应力钢筋骨架编笼应采用滚焊机成笼，装配钢筋笼时不得变形、松散。
- c) 预应力钢筋墩头宜采用热墩工艺，预应力钢筋墩头强度不得低于预应力钢筋材料强度标准值的 90%；墩头不得有裂纹、偏心，厚度卡位后不得高出端头板面。
- d) 预应力实心方桩宜采用螺旋箍筋，钢筋骨架的编笼宜采用滚焊机成笼。纵向预应力主筋和螺旋箍筋应焊接牢固，焊接点的强度损失不得大于预应力钢筋材料强度标准值的 5%，松脱的焊点应用钢丝绑扎。

5.2.3 端板的制作应符合下列规定：

- a) 端板制作不得采用铸造工艺，严禁使用地条钢制造端板，单块端板采用对接焊接成型时，其焊接接头的强度与性能应符合《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。
- b) 除焊接坡口、桩套箍连接槽、预应力钢筋穿筋孔、消除焊接应力槽、机械连接孔外，端板表面应平整，不得开槽和打孔。

5.2.4 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《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 二级焊缝的要求。

5.2.5 预应力钢筋张拉，短线台制作可采用整体张拉，长线台制作因张拉与锚固端距离较大，可采用单根张拉，放张顺序应采用对称、相互交错放张。总张拉力应符合产品工艺设计规定，宜采取超张拉来减小预应力损失。张拉力应通过计算确定，并采用应力和伸长值双重控制来确保准确，在应力控制同时检测预应力钢筋的伸长值，当发现两者数值有异常时，应检查、分析原因、及时处理。

5.2.6 混凝土配料应采用电子秤称量，误差控制应符合相关规定。混凝土应采用强制式搅拌机进行搅拌。

5.2.7 混凝土的浇灌应均匀布料、振捣成型。灌注混凝土时，应由桩顶部分往桩尖方向进行，必须连续灌注不得中断并边浇边振，并保证桩身混凝土密实，对桩顶、桩尖部分应加强振捣避免闭气产生气孔或不密实现象。长线台生产，同一条模台的混凝土宜连续浇筑施工，必须间隔施工的同一条模台两节桩间隔不得超过一小时。

5.2.8 预应力实心方桩自然养护，养护场所应具有 25℃ 以上的环境温度，可根据需要对脱模后的方桩进行保湿作业；预应力实心方桩蒸汽养护，养护介质应采用饱和水蒸气，工艺应按预养、升温、恒温、降温四个阶段进行，各阶段温度、时间和速度应根据试验确定。

5.2.9 预应力钢筋放张时，与预应力实心方桩相同条件养护下混凝土立方体抗压强度标准值不得低于桩身混凝土设计强度的 75%。

5.2.10 长线台生产的预应力实心方桩分节长度可根据设计需求、施工及运输条件调整，端板厚度仅需满足构造要求，对桩头起保护性作用。

5.3 构造和质量要求

5.3.1 带端板焊接连接预应力实心方桩的桩身配筋及构造大样示意图详见本规程附录 A，无端板机械连接预应力实心方桩详见附录 B，部分预应力实心方桩详见附录 C。

5.3.2 预应力实心方桩的螺旋箍筋及端板应分别符合表 5.3.2-1、5.3.2-2 的要求。

表 5.3.2-1 预应力实心方桩螺旋箍筋的构造要求（mm）

| 方桩 边长 | 螺旋箍筋 | | | |
|----------|------|-------|-------|------|
| | 直径 | 桩端加密区 | | 非加密区 |
| | | 间距 | 长度 | 间距 |
| 300 | ≥4 | 50 | ≥1500 | 100 |
| 350 | ≥4 | | | |
| 400 | ≥4 | | ≥2000 | |
| 450 | ≥5 | | | |
| 500 | ≥5 | | | |
| 550 | ≥6 | | | |
| 600 | ≥6 | | ≥2500 | |

注：长线台制作的方桩，预应力钢筋未锚固在端板上，端板仅起保护作用，厚度按非计算构造要求确定。

表 5.3.2-2 预应力实心方桩的端板允许最小厚度（mm）

| 预应力钢筋 | | φ ^D 9.0 | φ ^D 10.7 | φ ^D 12.6 |
|-------|-----|--------------------|---------------------|---------------------|
| 最小厚度 | 抗压桩 | ≥18 | ≥20 | ≥24 |
| | 抗拔桩 | ≥20 | ≥22 | ≥24 |

5.3.3 预应力实心方桩各部位的尺寸允许偏差应符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 预应力实心方桩尺寸允许偏差及检查方法

| 序号 | 检查项目 | | 允许偏差(mm) | 检查工具和检查方法 | 测量工具 分度值(mm) |
|----|--------|-----------|-----------------------|---|-----------------|
| 1 | 长度 L | | $+0.5\%L, -0.5\%L$ | 用钢卷尺测量, 精确至 1mm | 1.0 |
| 2 | 箍筋间距 | | ± 5 | 用钢卷尺测量, 精确至 1mm | 1.0 |
| 3 | 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 1mm | 0.5 |
| 4 | 桩端面平整度 | | ≤ 0.5 | 用钢直尺立起横放, 在桩端面上缓慢旋转, 用塞尺测量最大间隙, 精确到 0.1mm | 0.1 |
| 5 | 边长 B | | $+5, -4$ | 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 1mm | 0.5 |
| 6 | 保护层厚度 | | $+5, 0$ | 用深度游标卡尺在方桩中部同一断面的两处不同部位测量, 精确至 0.1mm | 0.02 |
| 7 | 桩身弯曲度 | | $\leq L/1000$ 且不大于 20 | 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 |
| 8 | 端板 | 端面 平整度 | ≤ 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 0.1mm | 0.1 |
| | | 边长 | $0, -1$ | 用游标卡尺或钢直尺测量, 精确至 0.5mm | 0.5 |
| | | 厚度 | 正偏差不限、-0.3 | 用游标卡尺或钢直尺测量, 精确至 0.1mm | 0.1 |

5.3.4 预应力实心方桩各部位的外观质量要求应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 预应力实心方桩的外观质量要求

| 序号 | 项目 | | 质量要求 |
|----|---------------------|-------|--|
| 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 5mm，且应做有效的修补 |
| 2 | 混凝土局部磕损 | | 局部磕损不应大于 5mm，每处面积不得大于 50cm ² ，且应做有效的修补 |
| 3 | 外表面露筋 | | 不允许 |
| 4 | 表面裂缝 | | 不得出现环向和纵向裂缝，但龟裂、水纹不在此限 |
| 5 | 桩端面平整度 | | 桩端面混凝土和预应力钢筋镦头不得高出端板平面 |
| 6 | 断筋、脱头 | | 不允许 |
| 7 | 桩套箍凹陷 | | 凹陷深度不大于 10mm |
| 8 | 桩身与端 板、套箍 结合面 | 漏浆 | 漏浆深度不大于 5mm，漏浆长度不大于桩横截面周长的 1/6，且应做有效的修补 |
| | | 空洞及蜂窝 | 不允许 |

5.3.5 机械连接接头应按相关标准进行接头受拉承载力、受弯承载力、受剪承载力检测，其机械连接桩身接头力学性能计算应满足本规程 4.3.6 条的相关要求。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中。

5.3.6 机械连接方式包括无端板机械连接及带端板机械连接。无端板机械连接连接件的抗拉强度不应低于预应力钢筋强度，连接件的机械性能应符合《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

5.3.7 预应力实心方桩端板宜设置钢套箍，无端板机械连接预应力实心方桩应设置钢套箍。部分预应力实心方桩端板应设置锚固筋，锚固筋应采用非预应力钢筋，并按相关标准设计与端板焊接连接，可采用穿孔塞焊或其他可靠的焊接连接方式。

5.3.8 预应力实心方桩桩尖宜采用一体式桩尖，也可采用装配式桩尖。装配式桩尖的混凝土强度等级不宜低于桩身强度，且应与桩身可靠连接。桩尖采用钢桩靴时，其材质应符合《碳素结构钢》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《建筑结构钢焊接技术规程》JGJ85 的有关规定。

5.3.9 对腐蚀、冻害特殊要求环境下的预应力实心方桩，应对其原材料、混凝土配合比和生产工艺等相关技术进行控制，并采取相应的有效措施，通过试验确定。上下节接桩宜采用机械连接，优先采用机械加连续焊接的复合连接方式。

5.3.10 预应力实心方桩出厂时应有产品合格证，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、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）等，还包括方桩类型、规格、型号、边长、混凝土强度等级、单节长度等。抗拔预应力实心方桩除了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。

5.3.11 预应力实心方桩检验分出厂检验和型式检验，其桩身的开裂弯矩及极限弯矩检验值应符合本规程附录 E 和附录 F 的规定。

6 预应力实心方桩基础施工

6.1 一般要求

6.1.1 采用预应力实心方桩基础的场地，应进行下列评价工作：

- a) 场地的交通运输条件；
- b) 建筑场地中孤石、坚硬夹层、岩溶、土洞、液化土层和构造断裂等不良地质现象及岩面坡度对桩基稳定性的影响；
- c) 沉桩对周边环境的影响。

6.1.2 预应力实心方桩基础施工前，应完成下列准备工作：

- a) 经审查批准的施工图设计文件，并组织有关单位会审图纸，形成会审纪要。
- b) 场地完成三通一平、排水畅通，坡度不大于 1%，地基土需满足沉桩所需的包括打桩机稳定和方桩运输堆放等地面承载力及稳定性要求。
- c) 调查施工场地及毗邻区域内的地下和地上管线、建（构）筑物及障碍物，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。
- d) 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。
- e) 编制施工组织设计或施工方案并得到监理等有关单位的批准。
- f) 施工现场必要的工作人员到位，向桩基施工人员进行安全技术交底。
- g) 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，施工中应定期复核。
- h) 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。

- i) 选择适合本工程施工的沉桩设备，并查验设备的工作性能，桩机安装就位，应校验校定，试运行正常。
 - j) 预应力实心方桩的产品合格证、产品说明书。
 - f) 按计划首批预应力实心方桩进场且验收合格。
- 6.1.3 预应力实心方桩沉桩应采用静压法沉桩，条件允许的情况下可采用锤击法沉桩，并应符合下列规定。
- a) 静压桩机按沉桩施工方式不同分为顶压和抱压两种，其具体的规格和性能见附录 H。
 - b) 锤击法沉桩机械常用有柴油锤桩机，其具体规格和性能见附录 G。
 - c) 根据设计文件和工程勘察报告及周边环境，并遵循“桩锤匹配，重锤低击”的原则综合考虑后，选择合适的沉桩机械。
 - d) 沉桩机械应有产品合格证书、产品说明书、桩机相关技术参数以及桩机对施工现场地基承载力要求。
 - e) 沉桩机械进入施工现场前，应进行标定。
 - f) 每台沉桩机械宜配备一台沉桩自动记录仪。
- 6.1.4 当打桩施工可能影响附近建（构）筑物时，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) 锤击沉桩时，可采用“重锤低击”法施工；
 - c) 全部或部分桩采用引孔沉桩；
 - d) 在饱和软土地区设置袋装沙井或塑料排水板，已消除部分孔隙水压力；
 - e) 开挖地面防挤(振)沟；
 - f) 控制每天沉桩数量，控制沉桩速率。
- 6.1.5 设有大面积地下室的预应力实心方桩基础工程，打桩与基坑围护结构施工先后顺序应经过研究后确定。有深基坑围护结构中的方桩工程，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方桩工程，应采取有效措施保持边坡稳定。
- 6.1.6 工程桩施工前，在相同施工工艺和相近地质条件下应进行不少于 2 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。试沉桩应选在地质勘探孔附近，其类型规格、长度、地质条件及施工方法应与工程桩一致，不宜利用工程桩位进行试沉桩。
- 6.1.7 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) 宜先大边长桩，后小边长桩。
 - 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) 7 宜采用跳打。
- 6.1.8 施工用实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、静压方桩混凝土龄期常温养护不小于 28d 和蒸汽养护方桩混凝土龄期不小于 3d 的要求。
- 6.1.9 预应力实心方桩桩尖有一体式桩尖和装配式桩尖，桩尖端部可根据现场地质情况增设钢桩靴。具体桩尖的选择应根据地质情况、设计要求及配桩条件综合考虑选用。

- 6.1.10 对于桩身接头焊接外露部分宜作防锈处理。无端板的预应力实心方桩不宜采用锤击法施工，若要采用锤击法施工，应采取保护桩头的有效措施。
- 6.1.11 沉桩过程中的现场焊缝质量除注明外，不应低于二级焊缝的要求。
- 6.1.12 沉桩对周围环境影响的监测，宜满足下列要求：
- a) 沉桩过程中，应根据本规程第 6.1.8 条的规定和施工组织设计监控沉桩顺序，引孔法沉桩应按本规程第 6.4.9 条的规定进行监理。
 - 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，除应按国家现行标准和本规程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情况。
 - c) 大面积群桩基础或挤土效应明显的预应力实心方桩基础工程，应定时监测打桩对周边建（构）筑物和地下工程的影响。
- 6.1.13 当沉桩施工中预应力实心方桩的破损率超过 3%时，可采用钻芯法检测，钻芯不得在施打过的方桩上钻取，钻芯检测应符合《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19496 的有关规定。

6.2 吊运和堆放

6.2.1 预应力实心方桩的吊运符合下列规定：

- a) 桩身混凝土设计强度达到 70% 及以上方可起吊，达到 100% 方可运输。
- b) 方桩起吊时应采取相应措施，保证安全平稳，轻起轻放，避免碰撞，严禁抛掷、滚落，保护桩身质量。
- c) 水平运输时，应做到桩身平稳放置，严禁在场地上直接拖拉桩体。
- d) 方桩应按设计要求的吊点进行吊运。施工时方桩长度不大于 15m 时，宜采用两点起吊，吊绳与方桩夹角应不得小于 60°，吊点位置如图 6.2.1a 所示，或按图 6.2.1b 所示方式拖移，长度大于 15m 的方桩或拼接桩，应采用不少于 4 个吊点进行起吊，吊点位置应另行验算。

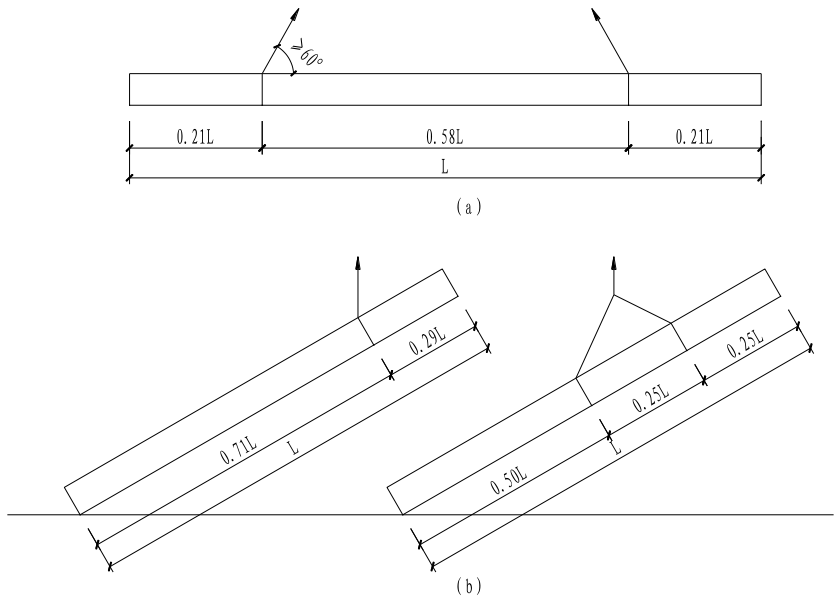


图 6.2.1 方桩起吊方式

6.2.2 预应力实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，垫木不允许用软垫木楔、腐朽木。若堆场地基经过特殊处理，也可采用着地平放。
- d) 堆放层数应根据方桩强度、地面承载力、垫木及堆垛稳定性等综合分析确定，按表 6.2.2 的规定执行。施工现场堆放不应超过 2 层。

表 6.2.2 预应力实心方桩堆放层数

| 边长（mm） | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 堆放层数 | ≤8 | ≤7 | ≤6 | | ≤5 | | ≤4 |

6.2.3 施工现场移桩应符合下列规定：

- a) 方桩叠层堆放时，应采用吊机取桩，严禁拖拉移桩。
- b) 单层摆放的方桩可拖拉移桩；当叠层堆放时，桩的拖地端应用废轮胎等弹性材料保护。
- c) 三点支撑履带自行式打桩机不宜拖拉取桩。
- d) 拖拉取桩时，应保持打桩机的稳定和桩的完整。

6.3 接桩与截桩

6.3.1 预应力实心方桩接桩可采用机械连接或端板焊接等方式，采用焊接接桩时宜避免桩端停留在厚粘性土层以及厚而密实的粉砂层中。

6.3.2 接桩时，其入土部分桩段的桩顶宜高出地面 0.5~1.0m。对接前，应注意上下两节桩的直角对正，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。焊接接桩就位纠偏时，不得采用大锤横向敲打；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。

6.3.3 预应力实心方桩焊接接桩，钢板宜采用低碳钢，焊条宜采用 E43，除了应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定外，尚应符合下列规定：

- a) 焊接时宜先在坡口上对称点焊 4~8 个点，待上下桩节固定后，拆除定位板，再分层施焊。
- b) 预应力实心方桩应保持上下桩端头板结合紧密，不得在上下桩端头板间塞垫件或在接缝不闭合的情况下强行焊接。

6.3.4 焊接质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 二级焊缝的要求。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。

6.3.5 机械连接接桩分机械快速螺纹接桩、机械连接加焊接复合型接桩、机械啮合接桩、抱箍式连接接桩等多种形式，各种连接方法的构造、尺寸和质量要求，除应符合现行相关规范的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 接桩前，应将连接处的桩端板等表面清理干净，去掉相应的保护装置；
- b) 检查接桩用的各种零部件是否符合要求，无异常后，方可继续施工；
- c) 快速螺纹接桩，应采用专用接桩对中器，待上、下节桩对准后，采用专用链条式扳手旋紧；
- d) 机械啮合接桩，应将上节管桩吊起，使连接销与带槽端板上的各个连接口对准，随即将连接插销插入连接槽内，将上节桩加压落下，完成接桩；
- e) 抱箍式接桩，应严格控制桩身的垂直度，其偏差应满足接桩处连接卡的有效连接，同时端板应连续焊接连接。

6.3.6 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。

6.3.7 无端板机械连接接桩应符合下列规定：

- a) 接桩前检查桩端尺寸偏差和插杆、螺母等机械连接件，确定无受损后方可起吊；

- b) 接桩时, 卸除上节桩两端的保护装置后, 应清理接头残留物, 并保持端部和接头清洁、干燥, 然后涂抹专用密封材料;
 - c) 连接后, 密封材料溢出接口, 接口应无缝隙, 在确认上下桩完全连接、专用密封材料完全凝固后方可压桩。
- 6.3.8 对于桩身接头焊接及有端板机械连接的钢制外露部分宜作防锈处理, 并应根据现场地质腐蚀条件及设计要求做好防腐处理。
- 6.3.9 预应力实心方桩截桩应采用锯桩器, 可通过机械方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。严禁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。

6.4 静压法沉桩施工

- 6.4.1 用静压沉桩, 静压桩机宜选用液压式桩机, 可根据单节桩的长度选用顶压式液压压桩机和抱压式液压压桩机, 桩机的型号、最大压桩力必须满足桩身力学参数和设计要求, 且桩机及配重之总重不宜小于最大压桩力的 1.2 倍。在没有规定和没有资料的情况下, 附录 H 静压桩机选择表可供参考。
- 6.4.2 最大压桩力不宜小于设计的单桩竖向极限承载力标准值, 必要时可由现场试验确定。
- 6.4.3 静压沉桩的质量控制应符合下列规定:
- a) 首节桩下压时, 垂直度偏差不应大于 0.25%, 且最大值不应大于 50mm。
 - 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) 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, 且最后一节有效桩长不宜小于 5m。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 1m 时, 应复核桩顶位偏差并记录。
 - d) 抱压式桩机送桩时, 抱压力不应大于桩身允许侧向压力的 1.1 倍。
 - e) 对大面积群桩, 应控制日压桩量。
- 6.4.4 压桩顺序应根据场地工程地质条件确定: 对于场地地层中局部含砂、碎石或卵石时, 宜先对该区域进行压桩; 当持力层的埋深或桩入土的深度差别较大时, 宜先施压长桩后施压短桩。
- 6.4.5 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。当一根桩压完, 若有露出地面的桩段, 应在移机前截去, 严禁利用压桩机强行扳断。
- 6.4.6 静压施工终压标准:
- a) 应根据现场试压桩的试验结果确定终压标准。
 - b) 终压连续复压次数应根据桩长及地质条件等因素确定。对于有效桩长不小于 8m 的方桩, 复压次数可为 2~3 次; 对于有效桩长小于 8m 的桩, 复压次数可为 3~5 次。
 - c) 稳压压桩力不得小于终压压力, 稳定压桩的时间宜为 5~10 秒。
- 6.4.7 沉桩过程中应按本规程附录 K 的要求填写沉桩记录, 并进行旁站监理。
- 6.4.8 引孔沉桩应符合下列规定:
- a) 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, 可采用引孔辅助沉桩工艺。
 - b) 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得大于 0.5%。
 - c) 引孔沉辅助沉桩应采取防塌孔措施, 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, 钻孔直径不宜超过方桩边长的 2/3, 深度不宜超过桩长的 2/3。
 - d) 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班中完成, 间隔时间不宜大于 12h; 软土地基不宜大于 3h。

- e) 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。
- 6.4.9 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,若上浮和偏位值较大,应采取复压等措施。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。
- 6.4.10 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,当桩尖进入较硬土层后,严禁用移动机架等方法强行纠偏。
- 6.4.11 顶压式桩机桩帽或送桩器与桩之间应加设弹性衬垫;抱压式桩机夹持机构中夹具面必须与桩身外表面形状特征相一致,严禁夹具面因夹带螺钉铁件等原因造成夹具面不平整。
- 6.4.12 静压法沉桩施工除了要满足上述要求外,尚应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

6.5 锤击法沉桩施工

- 6.5.1 锤击法施工适用于带端板的预应力实心方桩;无端板预应力实心方桩不宜采用锤击法施工,若采用锤击法施工,需做好桩头保护措施。
- 6.5.2 对采用锤击法施工的预应力实心方桩,锤击桩机的选用应符合以下要求:
- 锤击桩机的桩架必须具有足够的强度、刚度和稳定性,并应与桩锤相匹配。
 - 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,柴油锤的选择可参考附录 G。
- 6.5.3 预应力实心方桩打入应符合下列规定:
- 桩帽(或送桩器)与桩周围的间隙应为 5~10 mm,与桩之间应加设 1~2 层麻袋或硬纸板等弹性桩垫,厚度应均匀一致,且经锤击压实后的厚度不宜小于 50mm。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 150~200mm。桩垫和锤垫应随时检查、校正或更换。
 - 沉桩时桩身应垂直,垂直度偏差不应大于 0.25%;必要时应拔起方桩并在孔洞内填砂后重插。
 - 第一节方桩遇上表层厚度较大的淤泥质土或松软的回填土时,应利用锤自重将方桩压入,并控制方桩入土速度,以防桩身倾斜。
 - 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,严禁用移动桩架等强行回扳的方法纠偏。
 - 每根桩宜一次性连续施打到位,减少中间停歇时间;应避免桩端在硬土层、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 1m 时应复核桩顶位偏差并记录。
 - 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。
 - 沉桩过程中应按本规程附录 J 的要求填写沉桩记录。
- 6.5.4 每根桩总锤击数及最后 1 m 桩锤击数应符合下列规定:
- 预应力实心方桩总锤击数不宜超过 1800 锤,最后 1m 锤击数不宜超过 200 锤。
 - 高强预应力实心方桩总锤击数不宜超过 2200 锤,最后 1m 锤击数不宜超过 250 锤。
- 6.5.5 锤击沉桩终锤标准:
- 终锤标准原则上应结合工程地质情况、单桩竖向承载力、预应力实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 1~3m 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本规程附录 G，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，应以控制桩长和桩顶设计标高为主，贯入度为辅。
 - c) 桩端达到坚硬、硬塑的粘性土、中密以上粉土、砂土，极软岩—软岩时以贯入度为主，控制桩长和桩顶标高为辅。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、微风化岩层时，最后 10 击贯入度不宜小于 15mm，此时宜量测一阵锤击的贯入度，若达到终锤标准即可终锤。
- 6.5.6 锤击法沉桩施工除了要满足上述要求外，尚应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。
- 6.5.7 预应力实心方桩采用锤击法沉桩施工时宜采用桩尖；对于桩端持力层为硬土层或需要穿越硬土层、密实砂层时应采用桩尖。

6.6 送桩

6.6.1 送桩时，送桩器应满足下列要求：

- a) 送桩器应采用钢质送桩器，并应有足够的强度、刚度和耐打性；送桩器上下两端面应平整，且与送桩器中心轴线相垂直；送桩器长度应满足送桩深度要求，弯曲度不得大于 1/1000；不得将工程方桩作为送桩器使用。
- b) 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，弯曲度不得大于 1/1000，锤击桩送桩深度不宜大于 2m，静压桩送桩深度不宜超过 6m。
- c) 静压送桩的最大压桩力不宜超过桩身允许抱压压桩力的 1.1 倍。
- d) 送桩器应与方桩匹配，套筒式送桩器下端套筒深度应为 250~350mm，边长应比方桩边长大 20~30mm。

6.6.2 接桩完成并正常施压（或施打）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。

6.6.3 送桩前，预应力实心方桩露出地面高度宜控制在 0.3~0.5m。

6.6.4 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，沉桩、送桩作业应连续进行。

6.6.5 送桩的最后贯入度应参考相同条件下不送桩时的最后贯入度并予以修正。

6.6.6 当场地上部有较厚的淤泥土层时，送桩深度不宜大于 2.0m。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 预应力实心方桩检验和验收

7.1 一般规定

7.1.1 预应力实心方桩是桩基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。

7.1.2 预应力实心方桩工程验收按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工过程检验和施工后检验。上道工序检验合格后方可进行下道工序检验。

7.1.3 对砂、石子、水泥、钢材等桩体原材料质量的检验项目和方法应符合国家现行有关标准的规定。

7.1.4 预应力实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 7.1.4-1~表 7.1.4-3 的要求。

表 7.1.4-1 预应力实心方桩质量检验标准

| 项目 | 检查项目 | | 允许偏差或允许值 | 检查方法 | |
|------|----------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 主控项目 | 桩体质量检验 | | JGJ106 | JGJ106 | |
| | 桩位偏差 | | 本规程表 7.1.4-2 | 用钢尺量 | |
| | 承载力 | | JGJ106 | JGJ106 | |
| | 抗弯性能 | | 本规程附录 L | 本规程附录 L | |
| 一般项目 | 成品桩 | 外观质量检验 | 本规程表 5.3.4 | 本规程表 5.3.4 | |
| | | 裂缝（收缩裂缝或起吊、装运、堆放引起的裂缝） | 深度<20mm，宽度<0.25mm，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 | |
| | | 尺寸允许偏差 | 本规程表 5.3.3 | 本规程表 5.3.3 | |
| | | 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 | |
| | | 接桩 | 焊接 | 电焊结束后停歇时间 | ≥10.0min（手工电弧焊），≥5.0min（二氧化碳该气体保护焊） |
| | 上下节平面偏差 | | | <10mm | 用钢尺量 |
| | 焊缝质量 | | | 本规程表 7.1.4-3 | 本规程表表 7.1.4-3 |
| | 节点弯曲矢高 | | | <1/1000 <i>l</i> | 用钢尺量， <i>l</i> 为两节桩长 |
| | 机械连接 | | 两端面间隙 | ≤2mm | 用塞尺量 |
| | | | 连接件安装尺寸 | ≤0.5mm | 按连接孔数，用塞尺测量 |
| | 停锤标准或油压值 | | 设计要求 | 现场实测或查沉桩记录 | |
| | 桩顶标高（mm） | | ±50 | 用水准仪测量 | |

注：表中机械连接接桩的质量检验标准主要针对的是无端板机械连接预应力实心方桩，其中连接件安装尺寸指的是预埋套筒距桩端面高差等。

表 7.1.4-2 桩位的允许偏差

| 序号 | 项目 | | 允许偏差/mm |
|----|---------------------|--------------|-----------------------|
| 1 | 柱下单桩 | | 80 |
| 2 | 单排或双排 桩条形桩基 | 垂直于条形桩基横向轴的桩 | 100 |
| | | 平行与条形桩基纵向轴的桩 | 150 |
| 3 | 桩数为 2~4 根桩基中的桩 | | 100 |
| 4 | 桩数为 5~16 根桩 基中的桩 | 周边桩 | 100 |
| | | 中间桩 | 1/3 边长和 150mm 两者中的较大者 |
| 5 | 桩数大于 16 根桩 基中的桩 | 周边桩 | 1/3 边长和 150mm 两者中的较大者 |
| | | 中间桩 | 1/2 边长 |

表 7.1.4-3 电焊接桩焊缝检验标准

| 序号 | 检查项目 | | 允许偏差或允许值 | 检查方法 |
|----|------------------|---------------|---------------|----------|
| 1 | 上下节端部 错口 (mm) | 边长 ≥ 600 | ≤ 2 | 用钢尺量 |
| | | 边长 < 600 | ≤ 1 | |
| 2 | 焊缝咬边深度 (mm) | | ≤ 0.5 | 焊缝检查仪 |
| 3 | 焊缝加强层高度 (mm) | | 2 | 焊缝检查仪 |
| 4 | 焊缝加强层宽度 (mm) | | 2 | 焊缝检查仪 |
| 5 | 焊接电焊质量外观 | | 无气孔, 无焊瘤, 无裂缝 | 直观 |
| 6 | 焊缝探伤检验 | | 二级焊 | GB 50205 |

- 7.1.5 检验批的合格判定应符合下列要求。
- 主控项目应全部合格。
 - 一般项目应合格。当采用计数检验时, 至少应有 80%以上的检查点合格, 且其余检查点不得有严重缺陷, 经修复后不影响正常使用。
 - 应有完整的施工、验收记录。
- 7.1.6 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, 应包括下列内容:
- 工程所用接头的有效型式检验报告;
 - 连接件产品设计、接头加工安装要求的相关技术文件;
 - 连接件产品合格证和连接件原材料质量证明书。
- 7.1.7 无端板机械连接接头工艺检验应符合下列规定:
- 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;
 - 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《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 中的 II 级接头强度要求;
 - 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。
- 7.1.8 机械连接接头现场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 1000 个为一个验收批进行检验与验收，不足 1000 个也应作为一个验收批。每批次机械连接接头受拉承载力检验、受剪承载力检验分别不应少于一组，每组检测数目不应少于两对（每对两件），每个接头都应满足标定受拉承载力、受剪承载力要求。若有一件抽样不合格，则该批抽样检验判为不合格。当现场抽检连续 10 个验收批样试件检验一次合格率为 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承载力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 1000 个，且不得再次扩大验收批数量。

7.1.9 采用机械连接及桩顶采用张拉套筒与承台锚固筋连接的预应力实心方桩，机械连接件及张拉套筒的检验与验收除了应满足本规程 7.1.6~7.1.8 条的要求外，还应符合《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的相关要求。

7.1.10 预应力实心方桩防腐及耐久性检验应满足《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T50046 及《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476 等规范的相关要求。

7.2 施工前检验

7.2.1 监理（建设）单位、施工单位应按设计文件及本规程有关规定检查方桩产品合格证、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，形成方桩进场验收记录。与设计文件要求不相符和养护龄期不足的方桩不得进场。

7.2.2 进入施工现场的预应力实心方桩应按本规程表 5.3.3、表 5.3.4 的要求抽查验收。抽查数量为每个单位工程、同期施工的同一家生产厂家、同一规格型号不得少于桩节数的 0.4%，且不得少于 3 节，先做桩身抗弯检测，再进行桩身内预应力钢筋（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，钢筋保护层等项目的破损检验。当抽查结果出现一节桩不合格时，应加倍抽检；若再发现不合格方桩，该批方桩不得使用，并立即运出现场。

7.2.3 出厂检验时，混凝土强度检验评定应符合下列规定：

- a) 检验混凝土龄期。
- b) 混凝土质量检验试验留置，应符合下列规定：
 - 1) 当混凝土配合比调整或原材料发生变更时，应制作 3 组试件；
 - 2) 每拌制 1000 盘或一个工作班拌制的同配合比混凝土不足 1000 盘时，应制作 3 组试件。其中一组试件采用同条件养护，用于检验预应力钢筋放张时混凝土抗压强度，一组试件采用标准条件养护，用于检验 28d 的混凝土抗压强度（采用蒸养工艺时，检验 1d 的混凝土抗压强度），另一组备用或检验方桩出厂时的混凝土抗压强度。
- c) 混凝土强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定。

7.2.4 当预应力实心方桩采用焊接连接时，应按本规程第 5 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。抽查端板厚度的桩节数不得少于桩节总数的 2%，且不得少于 3 节，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。对端板质量怀疑时，可在工地上随机抽取 2~3 个端板，送到相关单位进行检验。

7.2.5 当预应力实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。随机抽查数量不得小于桩节总数的 2%，且不得少于 3 节。若发现连接部件的材质、部件数量及尺寸有不符合要求者，该批桩不得使用。

7.2.6 预应力实心方桩的起吊应进行旁站监理，在方桩起吊就位前，应目测检查方桩在运输、装卸、拖中有否产生裂缝，严禁使用有裂缝的方桩，每根桩施工前应检查裂缝。

7.3 施工过程检验

7.3.1 沉桩施工过程中应进行下列检测：

- a) 桩的定位及压桩就位前的复测；

- b) 打（压）桩机具的检查；
- c) 桩身垂直度检测；
- d) 桩接头的质量检测；
- e) 收锤（终压）监控；
- f) 沉桩记录的审核；
- g) 桩挤土效应监测；
- h) 沉桩对周围环境影响的监测；
- i) 基坑开挖和截桩头的监督等。

7.3.2 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、连接后的牢固性进行检查，并做好记录。

7.3.3 桩位放样允许偏差详见表 7.1.4-2，桩位经施工单位放线定位后，监理人员应对桩位进行复核。在压桩过程中，应随时注意桩位标记的保护，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。

7.3.4 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垂直度。测量桩身垂直度可用吊线锤法，需送桩的方桩桩身垂直度可采用送桩前桩头露出自然地面 1.0m~1.5m 时测得的桩身垂直度；但深基坑内的基桩，桩身垂直度应待深基坑土方开挖后再次量测。

7.3.5 多节桩施工过程中，当采用焊接接桩时，宜对电焊接头做焊缝探伤检查；当采用机械连接接桩时，应按不同机械连接形式的相关要求进行接头检验。同一工程抽样检验不得少于 3 个接头。

7.3.6 沉桩记录应齐全、真实、清晰，经相关人员签字确认后，方可作为有效的施工记录。

7.3.7 桩穿越或进入密实的砂土、密实的粉土或超固结黏性土可能产生挤土效应造成桩身上浮时，应监测全部工程桩沉桩完成后的桩顶标高。

7.4 施工后检验

7.4.1 桩基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，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需送桩时，在每一根桩顶沉至场地标高时，应进行中间验收后再送桩，待全部桩施工结束，开挖到设计标高后，再做最终验收。
- c) 桩位允许偏差应符合表 7.1.4-2 的规定。

7.4.2 桩基验收条件应符合下列要求：

- a) 现场桩头清理到位。
- 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) 检测报告已出具。
- e) 桩基子分部已经施工自检合格。

7.4.3 验收时，应对预应力实心方桩成桩的平面位置、桩顶标高、及桩身垂直度等内容逐根进行验收。

7.4.4 工程桩施工完毕，应按下列要求进行单桩竖向承载力检验：

- a) 桩基设计等级为甲级、乙级的方桩基础，单桩承载力应采用静载荷试验法检测，同一条件下的工程桩抽检数量不应少于总桩数的 1%，且不少于 3 根；当总桩数在 50 根以内时不应少于 2 根；桩基设计等级为丙级的方桩基础，单桩承载力检测方法和数量可参考本条执行。
- b) 当静载荷试验法检测受到场地条件限制时，可采用高应变动测法对单桩竖向承载力进行检测，并应有邻近相同条件且可靠的动静载试验的对比资料。高应变检测检测数量不应少于总桩数

的 5%，且不应少于 5 根，总桩数少于 50 根时，不应少于 3 根。因挤土效应产生的上浮桩、已认定的 III 类桩、倾斜超过 0.5% 的承压桩，不应采用高应变动测法检测其竖向承载力。

7.4.5 工程桩应按下列要求进行桩身完整性的检测：

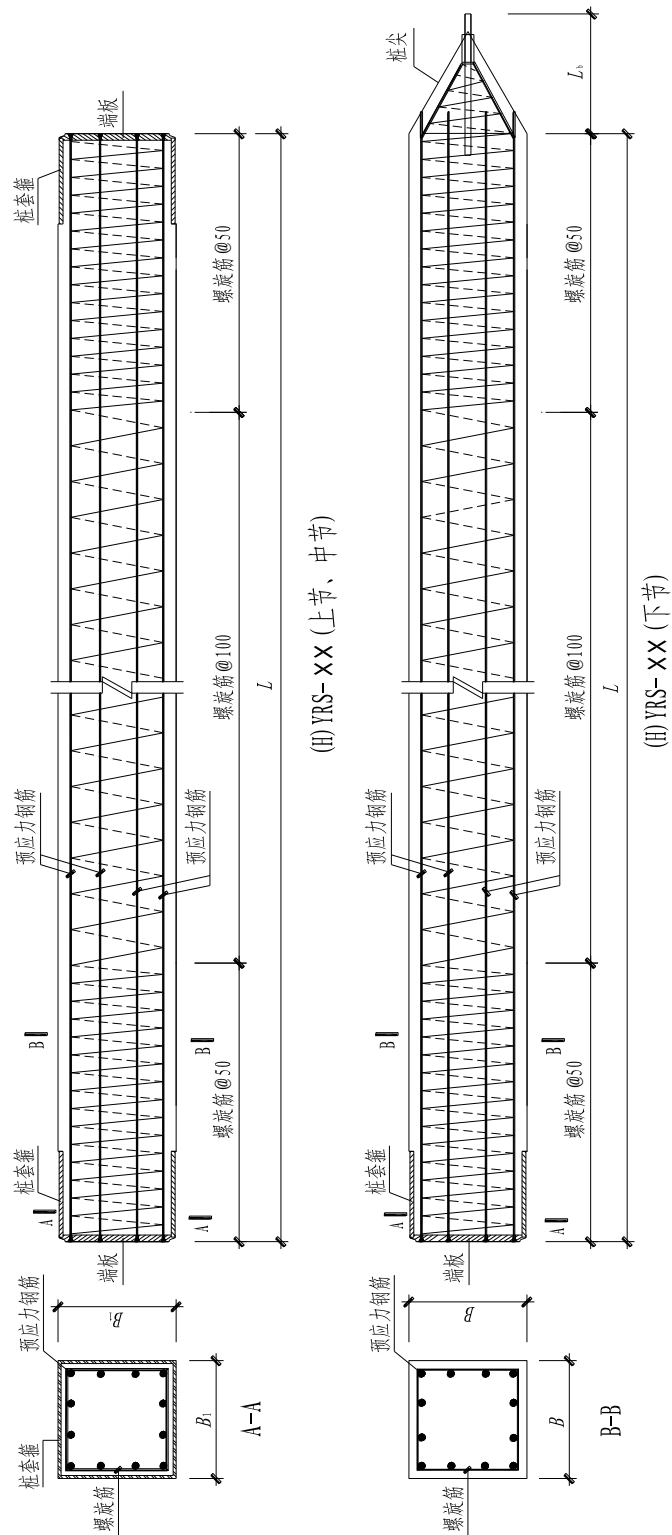
- a) 桩身质量检验应采用低应变动测法检测，对于工程桩较长需要接桩时，可结合高应变动测法检测桩身质量。
- b) 对地基基础设计等级为甲级的检测数量为总桩数的 30%；且不应少于 20 根；其他桩基工程的检测数量不应少于为总桩数的 20%，且不应少于 10 根。
- c) 每个独立承台的工程桩的抽检数量不得少于 1 根。
- d) 对于倾斜度大于 0.5% 的承压桩、III 类的桩占检测总数量的 30%、锤击法施工的无端板预应力实心方桩，应逐根检测。

7.4.6 对于专用抗拔桩和水平承载力有特殊要求的桩基工程，应进行单桩抗拔静载试验和水平静载试验检测，检测数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。

7.4.7 竣工验收时应提交的资料：

- a) 预应力实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) 技术交底资料；
- h) 预应力实心方桩试打记录；
- i) 预应力实心方桩出厂合格证、产品说明书和抗弯性能检测报告；
- j) 预应力实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、螺旋钢筋和螺旋箍筋抽检、接头焊缝验收记录等汇总资料；
- k) 预应力实心方桩焊接材料和机械连接部件合格证和检验报告；
- l) 预应力实心方桩接桩隐蔽验收记录，包括桩位编号；
- m) 预应力实心方桩的沉桩施工记录，包括桩位编号图；
- n) 桩基工程竣工图，桩位偏位实测情况，补桩、试桩记录等；
- o) 质量问题处理记录；
- p) 桩基载荷试验报告和桩身质量检测报告(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)；
- q) 桩基工程质量控制资料核查记录；
- r) 沉桩分项工程质量验收记录；
- s) 桩基工程质量验收报告。

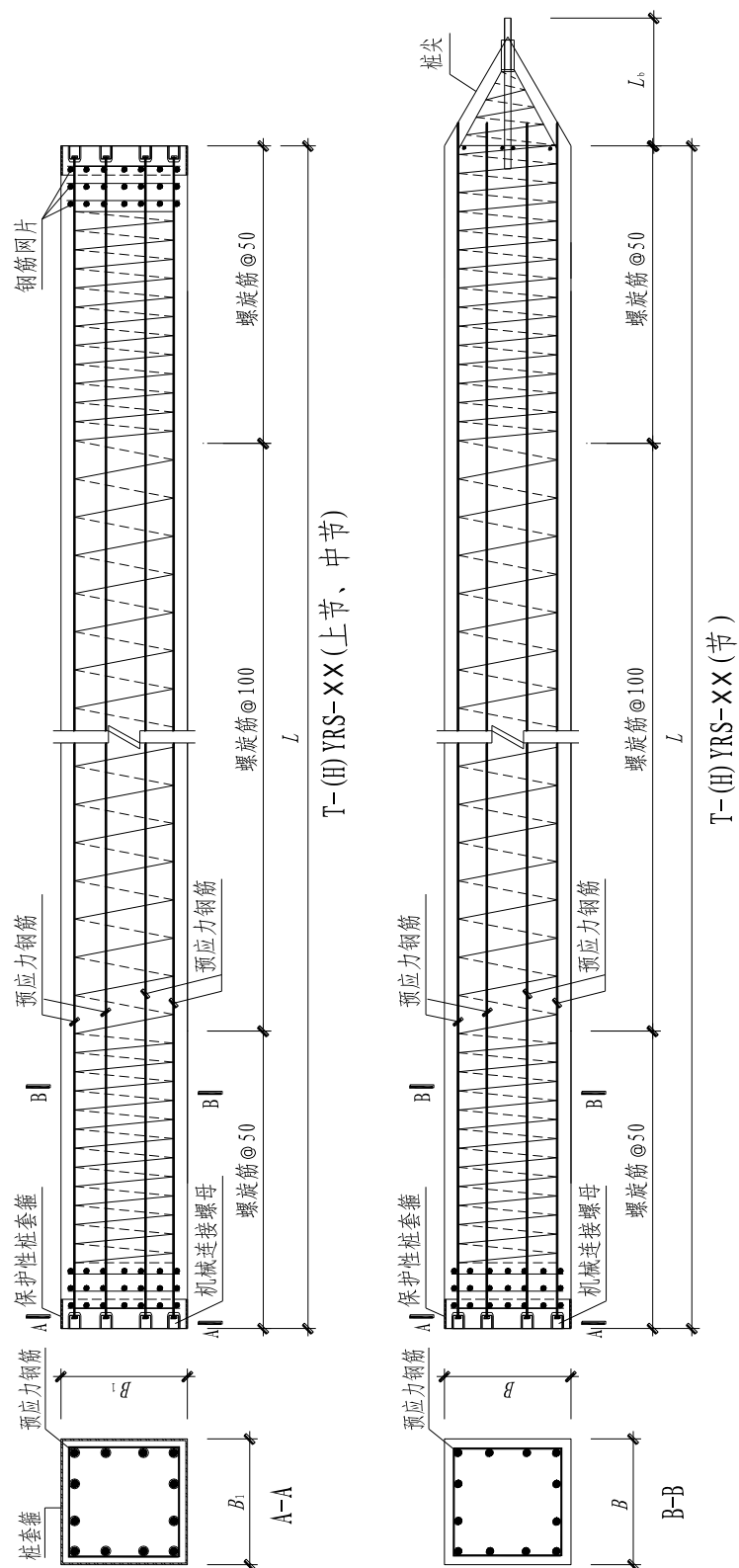
附录 A
(资料性)
预应力实心方桩构造示意图



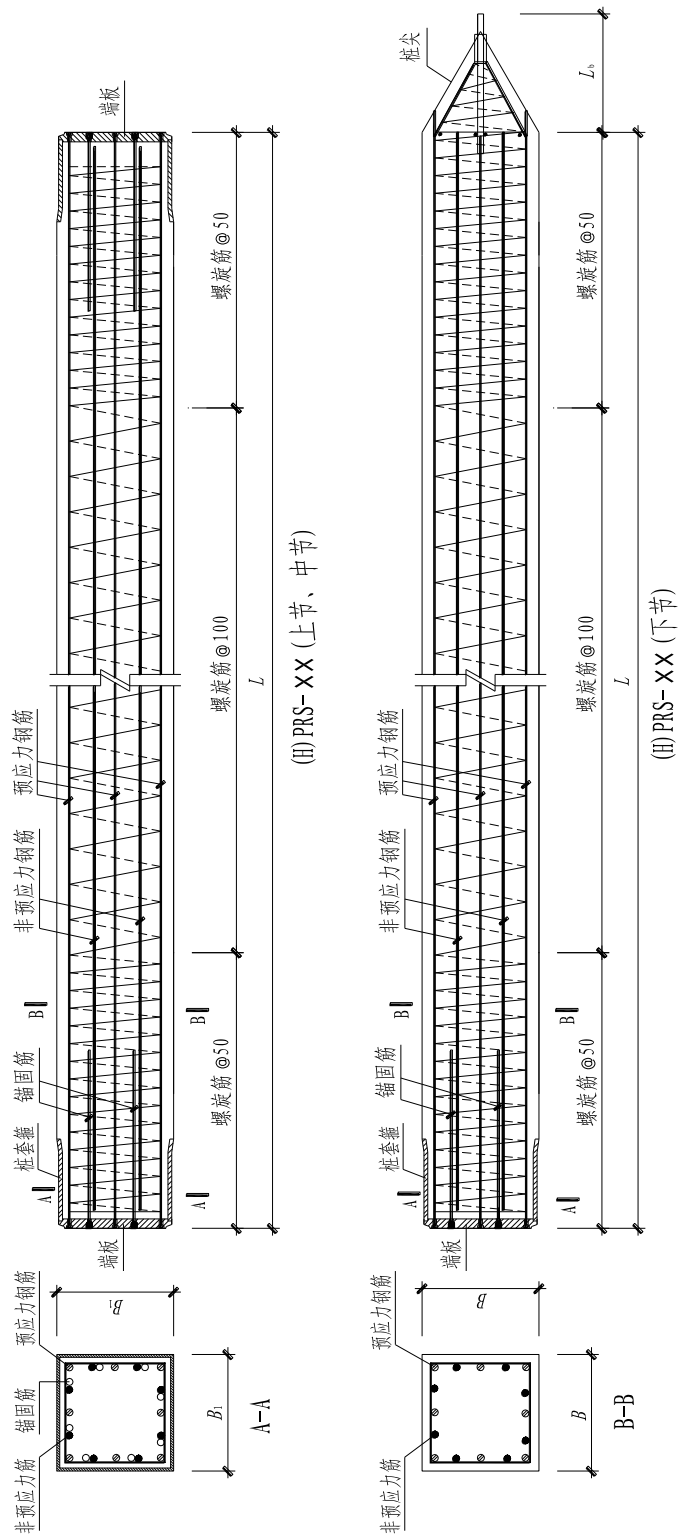
附录 B

(资料性)

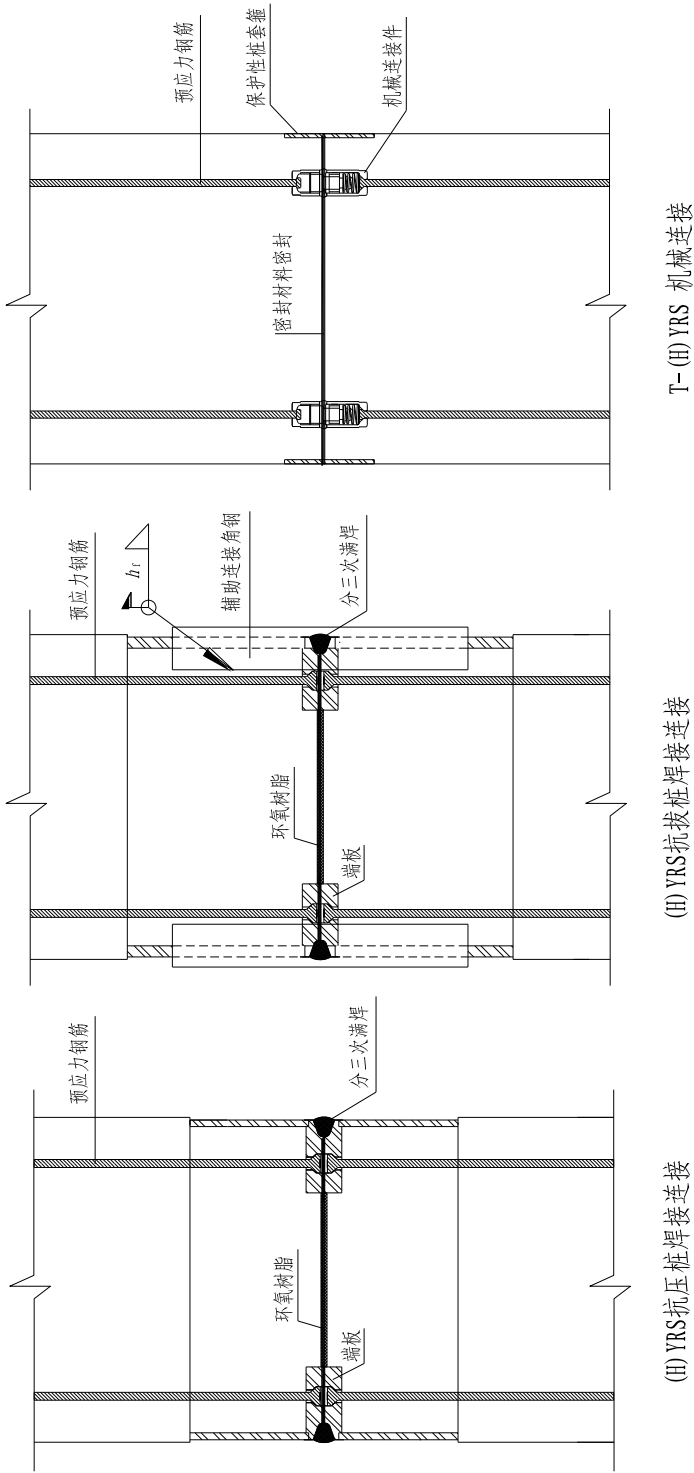
无端板机械连接预应力实心方桩构造示意图



附录 C
(资料性)
部分预应力实心方桩构造示意图



附录 D
(资料性)
预应力实心方桩接桩示意图



注：本附录 D 仅是桩接头示意，不涉及任何专利产品。