

ICS 93.020
P10

DB42

湖北省地方标准

DB42/489—2008

预应力混凝土管桩基础技术规程

Technical specification for pre-stressed concrete pipe pile foundation

2008-08-11 发布

2008-10-01 实施

湖北省质量技术监督局
湖北省建设厅 联合发布

目 次

前言	III
1 总则	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和符号	2
3.1 术语	2
3.2 主要符号	2
4 基本规定	4
5 管桩制作	7
5.1 材料	7
5.2 规格及尺寸	8
5.3 构造要求	9
5.4 制造工艺	10
5.5 检验验收	10
5.6 试验方法	12
5.7 贮存及搬运	14
5.8 标志及产品合格证	15
5.9 桩身强度	15
6 管桩基础勘察	17
7 管桩基础设计	19
7.1 一般规定	19
7.2 桩顶作用效应计算	20
7.3 桩基竖向承载力计算	20
7.4 单桩竖向抗压承载力	22
7.5 特殊条件下桩基竖向承载力验算	24
7.6 桩身承载力与裂缝控制验算	28
7.7 桩基沉降计算	29
7.8 桩基水平承载力与位移计算	30
8 沉桩施工	32
8.1 一般规定	32
8.2 管桩的验收、吊运及堆放	33
8.3 施工机具	33
8.4 沉桩	34
9 检验与监测	37
附录 A PHC、PC、PTC 桩参数及选用表(规范性附录)	40
附录 B 按桩顶水平位移控制单桩水平承载力特征值计算表(资料性附录)	42

附录 C 锤击沉桩锤重选择表(资料性附录).....54

附录 D 静压沉桩施工记录表(资料性附录).....55

附录 E 锤击沉桩施工记录表(资料性附录).....56

附录 F 闭口桩尖构造(资料性附录).....57

附录 G 设计弯矩、极限弯矩、抗裂弯矩计算表(资料性附录).....58

用词用语说明.....60

条文说明.....61

前 言

本标准规范湖北省建筑工程预应力混凝土管桩基础的勘察、设计、制作、施工、检验及监测工作的技术标准。

本标准以黑体字标志的条文为强制性条文，其中第 4.0.6、4.0.7、4.0.18、4.0.19、6.0.2、6.0.6、6.0.9、7.3.1、7.5.2、7.7.1、7.7.4、9.0.5、9.0.9、9.0.10 条是引自国家标准 GB50007-2002、GB50021-2001、GB50202-2002 及行业标准 JGJ94-2008、JGJ106-2003(J256-2003)中相关各条款的规定，必须严格执行。

本标准附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G 为资料性附录。

本标准由湖北省建设厅提出并归口

本标准主要起草单位：湖北省勘察设计协会咨询服务部

本标准参加起草单位(排序不分先后)：武汉理工大学、华中科技大学、机械工业第三勘察设计院、武汉市勘测设计研究院、湖北建华管桩有限公司、湖北省建筑标准设计研究院、武汉市建筑设计院、中南建筑设计院、湖北省建筑科学研究设计院、中国轻工业武汉设计工程有限责任公司、武汉市市政工程设计研究院有限责任公司、武汉安居工程发展有限公司、武汉建工股份有限公司、武汉武建机械施工有限公司、中南勘察设计院、武汉市建设工程设计审查办公室、武汉市建筑工程质量监督站。

本标准主要起草人：袁内镇、薛立寿、彭爱波、张鸿昌、袁海庆、温四清、廖振中、陆祖欣、武孟灵、钱午、郑俊杰、王爱勋、陈宗年、霍凯成、(以下按姓氏笔划排序)刘卫国、李锡银、陈辅仁、何晓伟、张凯萍、杨凡、杨晓臻、郑祥斌、张杰青、徐金山、詹红跃、谭先康

本标准由湖北省勘察设计协会咨询服务部负责解释。

预应力混凝土管桩基础技术规程

1 总 则

1.0.1 为了在预应力混凝土管桩基础的应用中贯彻国家的技术经济政策，做到安全适用、确保质量、技术先进、经济合理、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程依据现行国家及行业标准，结合湖北省的具体情况进行编制。预应力混凝土管桩基础设计方案的制定应注重概念设计，应根据岩土工程勘察资料、结构类型及要求，综合考虑环境条件、设备性能、经济指标等因素，精心设计、精心施工。

1.0.3 本规程适用于湖北省建筑工程预应力混凝土管桩基础的勘察、设计、制作、施工、检验与监测，市政工程可参照使用。

1.0.4 对于特殊土地基、受机械振动和腐蚀介质作用的桩基，以及本规程未作规定的其他内容，尚应符合现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修改版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB13476 先张法预应力混凝土管桩
- GB50007 建筑地基基础设计规范
- GB50009 建筑结构荷载规范
- GB50010 混凝土结构设计规范
- GB50011 建筑抗震设计规范
- GB50021 岩土工程勘察规范
- GB50202 建筑地基基础工程施工质量验收规范
- GB50300 建筑工程施工质量验收统一标准
- JGJ94 建筑桩基技术规范
- JGJ106 建筑基桩检测技术规范
- DB42/242 建筑地基基础技术规范
- DB42/269 建筑地基基础检测技术规范

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1 桩基 pile foundation

由设置于岩土中的桩和与桩顶连结的承台共同组成的基础称为桩基。

3.1.2 复合桩基 composite foundation pile

由基桩和承台下地基土共同承担荷载的桩基础。

3.1.3 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

3.1.4 单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of a 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。

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

单桩竖向极限承载力除以安全系数后的承载力值。

3.1.6 变刚度调平设计 optimized design of pile foundation stiffness to reduce differential settlement

考虑上部结构形式、荷载和地层分布以及相互作用效应，通过调整桩径、桩长、桩距等改变基桩支承刚度分布，以使建筑物沉降趋于均匀、承台内力降低的设计方法。

3.1.7 承台效应系数 pile cap effect coefficient

竖向荷载下承台底地基土承载力的发挥率。

3.1.8 负摩阻力 negative skin friction, negative shaft resistance

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

3.2 主要符号

3.2.1 作用和作用效应

F_k ——相应于荷载效应标准组合时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；

Q_k ——相应于荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，任一单桩的竖向力；

Q_{ik} ——相应于荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 根单桩的竖向力；

Q ——相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向力设计值；

M_{xk} 、 M_{yk} ——相应于荷载效应标准组合时，作用于承台底面绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩；

H_k ——相应于荷载效应标准组合时作用于承台底面的水平力；

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。

3.2.2 抗力和材料性能

q_{sia} ——单桩第 i 层土的侧阻力特征值；

q_{pa} ——单桩端阻力特征值；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力；

R_d ——单桩竖向承载力特征值;
 R_B ——单桩竖向抗拔承载力特征值;
 f_{ak} ——承台底地基土承载力特征值;
 M_{cr} ——桩身抗裂弯矩;
 R_b ——桩身允许抱压力;
 M_u ——桩身极限弯矩;
 R_d ——桩身允许顶压力;
 f_t 、 f_c ——混凝土抗拉、抗压强度设计值;
 E_s ——土的压缩模量;
 γ 、 γ_c ——土的重度、有效重度;
 σ_{pc} ——桩身混凝土有效预压应力;
 σ_{pe} ——桩身纵向预应力钢筋的有效预拉应力;
 σ_{ck} 、 σ_{cq} ——荷载效应标准组合、准永久组合下桩身正截面法向拉应力。

3.2.3 几何参数

l ——桩身长度;
 D ——桩身设计直径;
 d ——预应力钢筋公称直径;
 u ——桩截面周长;
 A ——基础(承台)总面积;
 A_G ——管桩截面面积;
 A'_G ——管桩截面面积(含土塞);
 A_f ——基础(承台)净面积;
 A_m ——锚筋截面面积;
 A_p ——全部预应力钢筋截面面积;
 n ——桩数;
 s ——桩基中心点最终沉降量。

3.2.4 计算系数

η_c ——承台效应系数;
 ψ ——沉降计算经验系数;
 K' ——离心混凝土工艺系数;
 K_b ——单桩上拔力增大系数。

4 基本规定

- 4.0.1 本规程适用于低桩承台预应力混凝土管桩基础工程。承台设计应符合有关标准的规定。
- 4.0.2 本规程所指预应力混凝土管桩包括高强预应力混凝土(PHC)管桩、预应力混凝土(PC)管桩、预应力混凝土薄壁(PTC)管桩以及用于锚杆静压的短节预应力管桩。管桩直径 300mm 至 600mm，其制作要求应符合本规程第 5 章的规定。当管桩直径大于 600mm 时，尚应符合有关标准的规定。
- 4.0.3 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桩基问题可能造成建筑破坏或影响正常使用的程度，将桩基设计分为表 4.0.3 所列的三个设计等级。桩基设计时，应根据表 4.0.3 确定设计等级。

表 4.0.3 建筑桩基设计等级

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)体型复杂、层数相差超过 10 层的高低层(含纯地下室)连成一体建筑 (4)20 层以上框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超过 7 层的一般建筑及坡地、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
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的 7 层及 7 层以下的建筑

- 30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑，采用预应力混凝土管桩基础时，应通过专门论证。
- 4.0.4 预应力混凝土管桩桩基设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力应符合下列规定：
- 1 确定桩数和布桩时，应采用传至承台底面的荷载效应标准组合；相应的抗力应采用基桩承载力特征值。
- 2 计算荷载作用下的桩基沉降和水平位移时，应采用荷载效应准永久组合；计算水平地震作用、风载作用下的桩基水平位移时，应采用水平地震作用、风载效应标准组合。
- 3 验算坡地、岸边建筑桩基的整体稳定性时，应采用荷载效应的基本组合；其荷载分项系数为 1。
- 4 在计算桩基结构承载力、确定尺寸和配筋时，应采用传至承台顶面的荷载效应基本组合。当进行桩身裂缝控制验算时，应分别采用荷载效应标准组合和荷载效应准永久组合。
- 5 桩基础结构构件设计安全等级、结构设计使用年限和结构重要性系数 γ_0 应按现行有关建筑结构规范的规定采用，除临时性建筑外，重要性系数 γ_0 不应小于 1.0。
- 6 对桩基结构进行抗震验算时，其承载力调整系数 γ_{RE} 应按现行国家标准 GB50011 的规定采用。

4.0.5 预应力混凝土管桩可穿越各类软土、填土、一般粘性土、粉土、松散及稍密的砂类土，进入厚层老粘性土、碎石土、中密及中密以上砂类土、强风化岩以及中风化极软岩一定深度，当需穿过上述硬土层或进入硬土层较深时，应通过试验确定其适用性。当场地存在深厚淤泥、淤泥质土，且基础埋深较大时，应经过技术经济比较，确定预应力混凝土管桩基础的适用性。

预应力混凝土管桩不适用于含孤石或障碍物较多且不易清除的土层，也不适用于桩端以上存在难以穿透的坚硬土层的场地。不应将石灰岩、微风化岩及中风化硬质岩石作为桩端持力层，当硬质岩残积土及强风化层很薄且其上为松软土层时，也不宜采用预应力混凝土管桩。

当坚硬持力层上为深厚淤泥及淤泥质土时，管桩的长径比不宜大于 60。

PTC 管桩仅能用于临时性建筑。设计使用年限 100 年的建筑物或侵蚀性环境中 PC、PHC 管桩壁厚不

应小于 95mm，且不应采用 A 型管桩。侵蚀性环境中尚应按相关规范对桩身进行适当防护。

4.0.6 预应力混凝土管桩基础应进行承载能力和稳定性计算：

- 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抗压承载力计算和水平承载力计算；**
- 2 应对桩身和承台结构承载力进行计算；对于桩侧土不排水抗剪强度小于 10kPa 且长径比大于 50 的桩应进行桩身压屈验算；应按施工阶段吊装、运输、锤击和抱压作用进行桩身承载力验算；**
- 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；**
- 5 对于抗浮、抗拔桩基，应进行抗拔承载力验算；**
- 6 对于抗震设防区的桩基应按现行 GB50011 的规定进行抗震承载力验算。**

4.0.7 应按下列规定进行沉降计算：

- 1 桩基设计等级为甲级的桩基；体形复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的乙级桩基；桩端持力层为中、高压缩性土层的桩基应进行沉降验算。**
- 2 软土地基上的多层建筑减沉复合疏桩基础应进行沉降验算。**

4.0.8 应根据桩基所处的环境类别和相应的裂缝控制等级，验算桩身的抗裂和裂缝宽度。对水平位移有严格限制的桩基，应计算其水平位移。

4.0.9 采用预应力混凝土管桩时应考虑沉桩振动、噪音及挤土效应对周边环境的影响，确定管桩的适用性，并按本规程第 8.1.3 条及 9.0.14 条的规定采取有效的预防及监测措施。

4.0.10 预应力混凝土管桩作为抗拔桩使用时，应符合本规程第 7.5 节的有关规定。侵蚀性环境中采用管桩作抗拔桩时，应采用闭口桩类，且桩全长灌芯，抗拔钢筋通长设置。

4.0.11 桩基设计宜选用中、低压缩性土层作桩端持力层，对变形要求严格时，不应采用桩端置于中、高压缩性土层中的摩擦桩。

同一结构单元的桩基，不宜选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层，不宜部分采用摩擦型桩和部分采用端承型桩。当按 JGJ94 有关规定采用变刚度调平设计桩基时，对桩端持力层及桩型的限制可根据工程实际情况适当放宽。

4.0.12 当利用倾斜土层作桩端持力层时，应考虑沉桩挤土效应等不利影响并验算桩基的稳定性。不得将桩支承于边坡潜在的滑动体上，桩端应进入经治理后的潜在滑裂面以下足够深度的稳定土层内。桩基应与边坡工程统一规划，同步设计。

4.0.13 岩溶地区的桩基，当岩溶上覆土层的稳定性有保证、强度及桩端以下持力层厚度满足要求时，可利用上覆土层作为桩端持力层。对高于 50m 的建筑物，当岩溶上覆土层较薄时，应进行专门论证。

4.0.14 抗震设防区管桩设计应符合 GB50011 的有关规定。

4.0.15 当承台底地基土承载力较高且能发挥作用时，可根据桩—土—承台共同工作的原理，按本规程的有关规定或相关标准的规定考虑承台底地基土的抗力作用。

4.0.16 预应力混凝土管桩可用锚杆静压方法在建筑物内施工，桩段长度及配筋应视工程具体情况设计，桩径宜为 300~400mm。

压桩力应根据工程要求、设备能力、桩身强度、地质情况、建筑物配载重量及单桩竖向静载荷试验综合确定。单桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向静载荷试验确定。试验数量不少于总桩数的 1%且不应少于 3 根，总桩数 50 根以下者不应少于 2 根。

4.0.17 当沉桩挤土效应有可能影响邻桩承载力时，应按本规程第 9.0.9 条的有关规定对工程桩进行单桩竖向静载荷试验。如试验结果不满足设计要求时，应在工程桩沉桩完成后对全部工程桩进行复打

(压),或采取其他有效措施。复打(压)应在全部工程桩施工完毕后实施。复打(压)完成后应进行静载荷试验检验单桩承载力。

4.0.18 基坑挖土应分层进行,高差不应过大,软土地区的基坑开挖,应采用小型机械配合人工分层均衡进行,高差不应超过 1m。

4.0.19 基槽回填前,应排除积水,清除虚土和建筑垃圾,填土应按设计要求选料,分层夯实,均衡进行。

4.0.20 采用预应力混凝土管桩基础的建筑物均应进行沉降观测,必要时应进行水平位移观测。变形观测应符合《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

4.0.21 接桩处理时,受压桩接桩时外包混凝土应延伸至桩顶以下一倍桩径且不小于 0.5m,混凝土强度等级应经计算确定且不应低于 C30,外包混凝土外径不得小于桩径加 300mm,外包混凝土纵向钢筋配筋率不宜小于 0.6%,箍筋可采用 $\Phi 8@100\text{mm}$ 。除采取上述措施外,管桩内孔尚应采用强度等级不低于 C30 混凝土灌芯,灌芯深度不小于 1.2m(自接桩处算起),配筋及构造应符合相关标准的要求。对于抗拔桩及受水平力较大的管桩,接桩时应进行专门的设计计算。

4.0.22 对倾斜率超过 1%的桩、低应变检测桩身存在缺陷的桩、偏位超限的桩,未经处理不得使用。

当需利用其部分承载力时,按本规程第 9 章的有关规定进行检测判定后,应进行补偿收缩混凝土灌芯,灌芯混凝土强度等级不应低于 C30,灌芯范围应为桩全长(采用封闭桩尖时),或缺陷以下 2.0m 处至桩顶(采用开口桩尖时)。桩芯内混凝土的配筋要求,由设计确定。

5 管桩制作

5.1 材料

5.1.1 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、粉煤灰硅酸盐水泥，其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定。

5.1.2 骨料应符合下列规定：

- 1 应采用洁净的硬质中粗砂或人工砂，细度模数为 2.5~3.2(采用人工砂时，细度模数可为 2.5~3.5)。
- 2 砂的颗粒级配应符合 II 区级配及表 5.1.2-1 的要求。

表 5.1.2-1 砂的颗粒级配要求

筛孔尺寸(mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
累计筛余(%)	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90
注：1、除 4.75 及 0.6 筛档外，允许超出，超出总量应小于 5%。 2、人工砂 0.15 筛孔可放宽到 0.1~0.08mm 筛孔。						

- 3 天然砂的含泥量应小于 1%，人工砂的石粉含量应小于 3%。
- 4 天然砂的坚固性以质量损失值计应小于 8%，人工砂以压碎指标计应小于 20%。
- 5 砂中不应混有草根、树枝、塑料等杂物，有害物质最高含量应符合表 5.1.2-2 的规定。

表 5.1.2-2 砂中有害物质最高含量

云母(%)	轻物质(%)	有机物(比色法)	硫化物及硫酸盐 (按 SO ₂ 计 %)	氯化物 (以 Cl 离子计 %)
1.0	1.0	合格	0.5	0.01

- 6 人工砂不应产生碱集料反应，其膨胀率应小于 1%。
- 7 砂的质量指标尚应符合《建筑用砂》GB/T 14684 及《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定。
- 8 粗骨料应采用质地坚硬、级配良好、表面粗糙的石灰岩、花岗岩等硬质类碎石。
- 9 碎石的压碎指标值应小于 10%，风化石等软弱颗粒含量应小于 3%，针片状颗粒含量应小于 10%，含泥量应小于 1%。
- 10 碎石的最大粒径不应大于 25mm，且不应超过钢筋净距的 3/4。
- 11 碎石的级配应符合表 5.1.2-3 的规定。

表 5.1.2-3 碎石级配要求

筛孔尺寸(mm)	26.5	19.0	16.0	9.5	4.75	2.36
最佳分计筛余(%)	0	12	28	38	15	4
累计筛余(%)	0	5~17	15~55	63~92	85~100	95~100

12 碎石的质量指标尚应符合《建筑用碎石、卵石》GB/T 14685 及《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定。碎石不应产生碱集料反应，其膨胀率应小于 1%。

5.1.3 钢材应符合下列规定：

- 1 预应力钢筋应采用预应力混凝土用钢棒，其质量应符合《预应力混凝土用钢棒》GB/T5223.3 中低松弛螺旋槽钢棒的规定，且钢棒的抗拉强度标准值不小于 1420MPa，非比例延伸强度不小于 1280MPa，钢棒的断后伸长率应符合 GB/T5223.3 中延性 35 级的规定。

2 螺旋筋宜采用冷拔低碳钢丝、低碳钢热轧圆盘条，其质量应分别符合《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》JC/T540、《低碳钢热轧圆盘条》GB/T701 的规定。

3 端部锚固钢筋、架立圈宜采用低碳钢热轧圆盘条或钢筋混凝土用热轧带肋钢筋，其质量应分别符合《低碳钢热轧圆盘条》GB/T701、《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB1499 的规定。

4 端板及桩套箍宜采用 Q235 材料，其质量应符合《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 及《碳素结构钢》GB/T700 的有关规定。端板最小厚度按预应力钢筋直径分别为 16mm(钢筋直径 7.1mm)、18mm(钢筋直径 9.0mm) 、20mm(钢筋直径 10.7mm) 、24mm(钢筋直径 12.6mm)。

5.1.4 混凝土拌合用水的质量应符合《混凝土拌合用水标准》JGJ63 的规定。

5.1.5 外加剂应经过试验验证，应适应蒸压养护，外加剂的质量应符合《混凝土外加剂》GB8076 的规定，严禁使用氯盐类外加剂。

5.1.6 掺合料不得对管桩产生有害影响，宜采用硅砂粉、矿渣微粉、粉煤灰等，其质量应分别符合《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》JC/T950、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046 中 S95 级、《用于水泥和混凝土的粉煤灰》GB/T1596 II 级 F 类的规定。

当采用其他品种掺合料时，应通过试验，符合要求后方可使用。

5.2 规格及尺寸

5.2.1 管桩按外径分为 300mm、400mm、500mm、600mm 等规格。

PC、PHC管桩按混凝土有效预压应力值分为A型、AB型、B型和C型，其对应的抗弯性能应符合本规程第5.5.7条的规定；A型、AB型、B型和C型管桩的混凝土有效预压应力值分别为4MPa、6MPa、8MPa和10MPa，其计算值应在各自规定值的5%范围内，并能满足各型号桩的抗弯检验要求。

根据设计或用户要求，也可生产其他规格和类型的管桩，其质量和性能应满足本规程的有关要求。

5.2.2 管桩的结构形状和基本尺寸应符合图 5.2.2 和表 5.2.2-1、5.2.2-2 的规定。

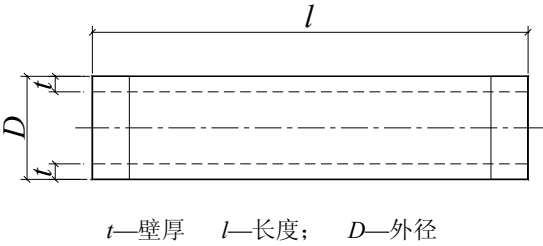


图 5.2.2 管桩的结构形状

表5.2.2-1 PC、PHC管桩基本尺寸

外径 d(mm)	最小壁厚 $t_{\min}$ (mm)		每节桩长度 l (m)								
	PC	PHC	7	8	9	10	11	12	13	14	15
300	70	70	○	○	○	○	○				
400	95	95	○	○	○	○	○	○	○		
500	100	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○
600	110	110	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注：1、“○”代表长度 l 的适用范围，表 5.2.2-2 同。
2、直径 300mm 的桩，A 型、AB 型、B 型桩钢筋保护层厚度不应小于 30mm，直径 400mm 及以上的桩，钢筋保护层厚度不应小于 40mm。

表5.2.2-2 PTC管桩基本尺寸

外径 d(mm)	最小壁厚 $t_{\min}$ (mm)	每节桩长度 l (m)						
		7	8	9	10	11	12	13
300	50	○	○	○				
400	55	○	○	○	○	○		
500	60	○	○	○	○	○	○	
600	70	○	○	○	○	○	○	○

5.2.3 每节管桩均应明确标记其品种、规格、型号及长度，标记示例为：品种PHC、外径500mm、壁厚100mm、长度12m的A型预应力高强混凝土管桩的标记为：PHC-A500-100-12。

5.3 构造要求

5.3.1 预应力钢筋的加工应符合下列规定：

- 1 钢筋应清除油污，不应有局部弯曲，端面应平整，同一节管桩中预应力钢筋长度的相对差值，当钢筋长度小于等于 15m 时不得大于 1.5mm，长度大于 15m 时不得大于 2mm。
- 2 钢筋和螺旋筋的焊接点的强度损失不得大于该材料标准强度的 5%。
- 3 钢筋镦头强度不得低于该材料标准强度的 90%。钢筋镦头制作应符合《预应力混凝土用钢棒镦头机》JC/T 966 有关规定。

5.3.2 钢筋的配置及成型应符合下列规定：

- 1 预应力钢筋沿其分布圆周均匀配置，最小配筋率不应低于 0.4%，且不得少于六根。不同品种、规格、型号的管桩预应力钢筋最小配筋面积不应低于表 5.3.2 的规定。钢筋面积可进行等强代换。

表5.3.2 预应力钢筋最小配筋面积(mm²)

PHC PC -300-70				PHC PC -400-95				PHC PC -500-100 (125)				PHC PC -600-110 (130)			
A	AB	B	C	A	AB	B	C	A	AB	B	C	A	AB	B	C
240	369	490	621	428	649	881	1115	624 (694)	900 (1052)	1210 (1422)	1534 (1796)	815 (904)	1214 (1367)	1634 (1846)	2070 (2344)

2 螺旋筋的直径应根据管桩规格确定，外径 400mm 及以下，螺旋筋的直径不应小于 4mm；外径 500~600mm，螺旋筋的直径不应小于 5mm。螺旋筋螺距不应超过 80mm。管桩两端及中部各 2000mm 长度范围内，螺旋筋螺距为 45mm。

3 工程需要时，可增加端部锚固钢筋。

4 骨架成型后，各部分尺寸应符合如下要求：

- 1) 预应力钢筋间距偏差不得超过±5mm；
- 2) 螺旋筋的螺距偏差不得超过±5mm。

5.3.3 端板焊接接头的构造应符合下列规定：

- 1 管桩接头端板的宽度不应小于管桩的壁厚。
- 2 接头的端面必须与桩身的轴线垂直，接头端面对桩身轴线的倾斜度应小于 0.5%D。
- 3 接头的焊接坡口尺寸宜选用有关标准设计，接头强度不应低于桩身强度。

5.4 制作工艺

5.4.1 混凝土质量控制应符合《混凝土质量控制标准》GB50164 及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

预应力混凝土管桩、预应力混凝土薄壁管桩用混凝土强度等级不得低于 C60，预应力高强混凝土管桩用混凝土强度等级不得低于 C80。

5.4.2 管桩钢模制作应符合《先张法预应力混凝土管桩钢模》JC/T 605 有关规定。

管桩脱模剂应符合《混凝土制品用脱模剂》JC/T 949 有关规定。

5.4.3 混凝土配料应采用电脑或电子秤称量，并应采用强制式搅拌机进行搅拌。各种材料称量的允许误差为：水泥、掺合料 $\pm 1\%$ ，粗、细骨料 $\pm 2\%$ ，水、外加剂 $\pm 1\%$ 。

5.4.4 采用先张法模外预应力工艺，总张拉力应符合设计规定，并宜采用应力和伸长值双控来确保预应力的控制。

5.4.5 混凝土布料应均匀，离心工艺成型应按低速、中速、高速三个阶段进行，混凝土应密实，壁厚应均匀。离心制度(转速与时间)应根据管桩的品种、规格等经试验确定。

5.4.6 常压蒸汽养护、压蒸养护应根据管桩品种、规格、不同的原材料、不同气候条件等经试验确定。

5.4.7 放张预应力筋时，与管桩相同条件养护的混凝土试件的抗压强度标准值不得低于 40MPa。

5.4.8 预应力混凝土管桩脱模后在成品堆场上需继续进行保温养护，混凝土表面应润湿，不应产生收缩裂缝。

5.4.9 桩尖采用钢板制作，钢板材质应符合《碳素结构钢》GB/T700 的有关规定，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》JGJ81 的有关规定。

5.5 检验验收

5.5.1 型式检验与出厂检验应符合GB13476及《先张法预应力薄壁管桩》JC888的有关规定。

检验项目应包括混凝土抗压强度、外观质量、尺寸偏差(不包括保护层厚度)、抗弯性能的检验。

5.5.2 出厂检验的批量和抽样应符合下列要求：

外观质量与尺寸偏差：以同品种、同规格、同型号的管桩连续生产300,000m为一批，但在四个月内生产总数不足300,000m时仍作为一批，随机抽取10根进行检验。

抗弯性能：在外观质量和尺寸偏差检验合格的产品中随机抽取两根进行抗弯性能的检验。

5.5.3 出厂检验时，混凝土强度检验评定应符合下列规定：

1 检验评定混凝土强度的龄期，当采用压蒸养护工艺时，混凝土强度等级的龄期为出釜后1d；采用其他养护工艺时，混凝土强度等级的龄期为28d。

2 检验混凝土质量的试件的留置，应符合下列要求：

1) 当混凝土配合比调整或原材料发生变更时，应制作三组试件；

2) 每拌制100盘或一个工作班拌制的同配合比混凝土不足100盘时，应制作三组试件。其中：一组试件检验预应力钢筋放张时混凝土抗压强度，一组试件检验28d的混凝土抗压强度(采用压蒸养护工艺时，检验出釜后1d的混凝土抗压强度)，另一组备用或检验管桩出厂时的混凝土抗压强度。

3 混凝土强度检验评定应按《混凝土强度检验评定标准》GBJ 50107执行。

5.5.4 判定规则应符合下列规定：

外观质量与尺寸偏差：所抽10根管桩中，不符合本规程表5.5.5规定的管桩不应超过两根。

抗弯性能：若所抽两根全部符合本规程第5.5.7条的规定时，则判抗弯性能合格；若有一根不符合本规程第5.5.7条的规定时，应从同批产品中抽取加倍数量进行复验，复验结果若仍有一根不合格，则判抗弯性能不合格。

在混凝土抗压强度、抗弯性能合格的基础上，外观质量和尺寸偏差全部合格，则判该产品为合格，否则为不合格。

5.5.5 外观质量应符合表5.5.5的规定。

表 5.5.5 管桩的外观质量

项 目		合 格 品 质 量 要 求
粘皮和麻面		局部粘皮和麻面累计面积不大于桩总外表面积的 0.5%；每处粘皮和麻面的深度不大于 5mm，且应修补
桩身合缝漏浆		漏浆深度不大于 5mm，每处漏浆长度不大于 300mm，累计长度不大于管桩长度的 10%，或对称漏浆的搭接长度不大于 100mm，且应修补
局部磕损		磕损深度不大于 5mm，每处面积不大于 50cm ² ，且应修补
内外表面露筋		不允许
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纹不在此限
桩端面平整度		管桩端面混凝土和预应力钢筋锚头不得高出端板平面
断筋，脱头		不允许
桩套箍凹陷		凹陷深度不大于 5mm，面积不大于 500mm ²
内表面混凝土塌落		不允许
接头和桩套箍与桩身结合面	漏浆	漏浆深度不大于 5mm，漏浆长度不大于周长的 1/6，且应修补
	空洞和蜂窝	不允许

5.5.6 尺寸允许偏差应符合表5.5.6的规定。

表5.5.6 管桩的尺寸允许偏差

项 目		合格品允许偏差	
l		±0.5%l	
端部倾斜		≤0.5%D	
D(mm)	≤600	+5	-2
t		+20	0
保护层厚度(mm)		+5	0
桩身弯曲度		≤l/1000	
桩端板(mm)	外侧平面度	0.5	
	外 径	0	-1
	内 径	0	-2
	厚 度	正偏差无限	0
注：表内尺寸以设计图纸为基准。			

5.5.7 抗弯性能应符合表5.5.7-1、表5.5.7-2的规定。

表5.5.7-1 PC、PHC管桩的抗弯性能

外径(mm)	型 号	开裂弯矩(kN·m)	极限弯矩(kN·m)
300	A	25	37
	AB	30	50
	B	34	62
	C	39	79
400	A	54	81
	AB	64	106
	B	74	132
	C	88	176
500-100 (500-125)	A	103(111)	155(167)
	AB	125(136)	210(226)
	B	147(160)	265(285)
	C	167(180)	334(360)
600-110 (600-130)	A	167(180)	250(270)
	AB	206(223)	346(374)
	B	245(265)	441(477)
	C	285(307)	569(615)

表5.5.7-2 PTC管桩的抗弯性能

外径(mm)	开裂弯矩(kN·m)	极限弯矩(kN·m)
300	19	26
400	39	55
500	71	99
600	119	167

5.6 试验方法

5.6.1 混凝土抗压强度的试验应符合下列规定：

混凝土拌合物应在搅拌站或喂料工序中随机抽取，制作标准尺寸试件，并与管桩同条件养护，混凝土抗压强度试验方法应符合《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T 50081 的有关规定。

5.6.2 外观质量和尺寸的检查工具及检查方法应符合表 5.6.2 的要求。

表 5.6.2 外观质量和尺寸的检查工具与检查方法

检查项目	检查工具与检查方法	测量工具精度(mm)
长 度	用钢卷尺测量，精确至 1mm	1.0
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	1.0
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
桩端部倾斜	两端支承，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
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矢距，精确至 1mm	0.5
保护层厚度	用深度游标卡尺在管桩的中部同一圆周的两处不同部位，精确至 0.1mm	0.02
漏浆长度	用钢卷尺测量，精确至 1mm	1.0
漏浆深度	用深度游标卡尺测量，精确至 0.1mm	0.02
裂缝宽度	用 20 倍读数放大镜测量，精确至 0.01mm	0.01

5.6.3 桩身及接头的抗弯试验应符合下列规定：

- 1 当加载至本规程表 5.5.7-1、表 5.5.7-2 中的极限弯矩时，管桩不得出现下列任何一种情况：
- 1) 受拉区混凝土裂缝宽度达到 1.5mm；
- 2) 受拉钢筋被拉断；
- 3) 受压区混凝土破坏。
- 2 管桩的抗弯试验采用简支梁对称加载装置， l 不应短于15D且不应短于5m，如图5.6.3所示，其中， P 的方向垂直于地面。

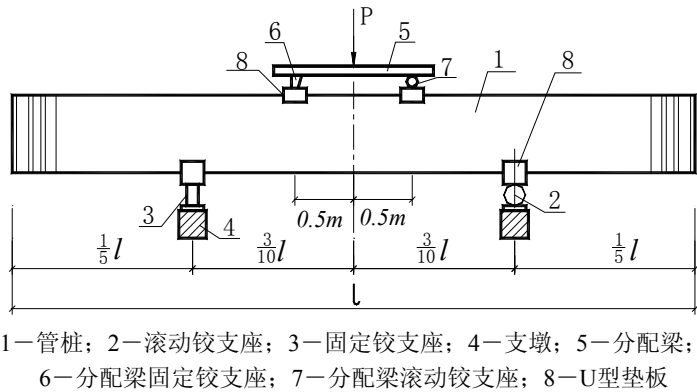


图5.6.3 管桩的抗弯试验示意图

- 3 管桩接头处抗弯试验方法同图5.6.3，应使接头位于最大弯矩处。
- 4 加载程序应符合下列规定：
- 第一步：按抗裂弯矩的20%的级差由零加载至抗裂弯矩的80%，每级荷载的持续时间为3min；然后按抗裂弯矩的10%的级差继续加载至抗裂弯矩的100%。每级荷载的持续时间为3min，观察是否有裂缝出现，并测定和记录裂缝宽度。
- 第二步：如果在抗裂弯矩的100%时未出现裂缝，则按抗裂弯矩的5%的级差继续加载至裂缝出现。每级荷载的持续时间为3min，测定和记录裂缝宽度。
- 第三步：按极限弯矩的5%的级差继续加载至出现本条第1款所列极限状态的检验标志之一为止。每级荷载的持续时间不少于3min，观测并记录各项读数。

5 弯矩计算应符合下列规定：

实测弯矩按下式计算：

1) 垂直向下加载时： $M = \frac{P}{4}(\frac{3}{5}l-1) + \frac{1}{40}Wl$ (5.6.3-1)

2) 垂直向上加载时： $M = \frac{P}{4}(\frac{3}{5}l-1) - \frac{1}{40}Wl$ (5.6.3-2)

式中：

W ——管桩重量(kN)；

l ——管桩长度(m)；

P ——荷载(垂直加载时，应考虑加载设备的重量)(kN)。

6 开裂荷载和极限荷载的确定应符合下列规定：

当在加载过程中第一次出现裂缝时，应取前一级荷载值作为开裂荷载实测值；当在规定的荷载持续时间内第一次出现裂缝时，应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为开裂荷载实测值；当在规定的荷载持续时间结束后第一次出现裂缝时，应取本级荷载值作为开裂荷载实测值。

当在规定的荷载持续时间结束后出现本条第1款所列的情况之一时，应取此时的荷载值作为极限荷载实测值；当在加载过程中出现上述情况之一时，应取前一级荷载值作为极限荷载实测值；规定的荷载持续时间内出现上述情况之一时，应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为极限荷载实测值。

5.7 贮存及搬运

5.7.1 厂内贮存应符合下列要求：

1 管桩堆放场地应坚实平整。

2 管桩堆放时，最下层宜按图5.7.1所示的两支点位置放在垫木上，不得以有棱角的金属构件替代垫木，垫木支承点应在同一水平面。管桩堆放层数应符合表5.7.1的规定。

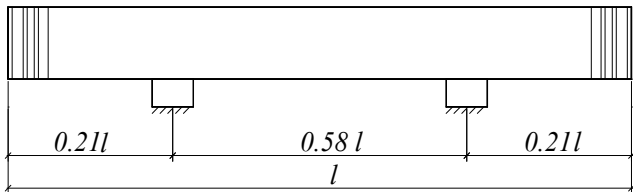


图 5.7.1 两支点示意图

3 管桩应按品种、规格、型号、长度分别堆放。最大堆放层数应符合表 5.7.1 的规定。

表 5.7.1 管桩最大堆放层数

外径 (mm)	300	400	500~600
堆放层数	9	8	7

5.7.2 管桩搬运宜采用两支点法（参见图 5.7.1）或两头勾吊法，装卸轻起轻放，严禁抛掷、碰撞、滚落。

5.8 标志及产品合格证

5.8.1 管桩标志宜符合下列要求:

- 1 标志标在管桩表面距端头 1000~1500mm 处。
- 2 标志内容为管桩标记、制造日期或管桩编号,制造厂的厂名或产品注册商标。

5.8.2 产品合格证应包括下列内容:

- 1) 合格证编号;
- 2) 依据标准的编号;
- 3) 管桩品种、规格、型号、长度及壁厚;
- 4) 混凝土抗压强度;
- 5) 产品数量;
- 6) 管桩编号;
- 7) 制造厂厂名、制造日期、出厂日期;
- 8) 检验员签名或盖章(可用检验员代号表示)。

5.9 桩身强度

5.9.1 应计算张拉锚具变形和钢筋内缩、预应力钢筋的松弛及混凝土的收缩和徐变等所产生的预应力损失。

5.9.2 管桩运输、吊装的动力系数可采用 1.5。

5.9.3 抗裂弯矩应按下式计算

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + K'f_{tk})W_0 \quad (5.9.3)$$

式中:

σ_{pc} ——混凝土有效预压应力;

K' ——离心混凝土工艺系数,混凝土强度等级为C60时, $K'=2.0$;混凝土强度等级为C80时, $K'=1.9$;

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值;

W_0 ——管桩换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩。

5.9.4 极限弯矩应按下式计算

$$M_u = \alpha_1 f_{ck} A_G (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{py} A_p D_p \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_p D_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{2\pi} \quad (5.9.4-1)$$

$$\text{其中: } \alpha = \frac{0.55 \sigma_{p0} A_p + 0.45 f_{ptk} A_p}{\alpha_1 f_{ck} A_G + f'_{py} A_p + 0.45 (f_{ptk} - \sigma_{p0}) A_p} \quad (5.9.4-2)$$

$$\alpha_t = 0.45(1 - \alpha) \quad (5.9.4-3)$$

式中:

α_1 ——系数,混凝土强度等级为C60时, $\alpha_1=0.98$,混凝土强度等级为C80时, $\alpha_1=0.94$;

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值;

A_G ——管桩截面积;

r_1 、 r_2 ——环形截面的内、外半径;

α ——受压区混凝土截面面积与全截面面积的比值;

f_{py} ——预应力钢筋抗压强度设计值；

A_p ——全部预应力钢筋截面面积；

D_p ——预应力钢筋所在圆周直径；

f_{ptk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值；

σ_{p0} ——预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力；

α_t ——受拉区纵向预应力钢筋面积与全部预应力钢筋面积的比值。

5.9.5 施工阶段桩身允许抱压压桩力、桩身允许顶压压桩力可按下式计算

$$\text{PC 桩 } R_b = 0.5(f_{cu,k} - \sigma_{pc})A_G \quad (5.9.5-1)$$

$$\text{PHC 桩 } R_b = 0.45(f_{cu,k} - \sigma_{pc})A_G \quad (5.9.5-2)$$

$$\text{PTC 桩 } R_b = 0.4(f_{cu,k} - \sigma_{pc})A_G \quad (5.9.5-3)$$

$$R_d = 1.1R_b \quad (5.9.5-4)$$

式中：

R_b ——桩身允许抱压压桩力；

$f_{cu,k}$ ——桩身混凝土立方体抗压强度标准值（混凝土强度等级）；

R_d ——桩身允许顶压压桩力。

6 管桩基础勘察

6.0.1 管桩基础岩土工程勘察工作,除应执行 GB50021、JGJ94、《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72 和《岩土工程勘察工作规程》DB42/169 的有关规定外,尚应符合本规程的规定。施工图设计应依据岩土工程详勘报告,施工中发现岩土条件与勘察资料不符或存在异常情况必须查明时,应进行施工勘察。

6.0.2 勘探点数量应满足对地基均匀性评价的要求,勘察等级为甲级的单栋高层建筑勘探点数量不应少于 5 个,勘察等级为乙级的单栋高层建筑、单栋多层建筑及同一场地建筑群的单栋建筑不应少于 4 个,同一场地密集建筑群的单栋建筑不应少于 3 个,且每栋建筑物至少应有 1 个控制性勘探孔。

6.0.3 勘探点应按建筑物周边、角点或柱列线布置,间距宜为 12~30m,应能控制桩端持力层层面和厚度的变化。当同一建筑物相邻勘探点揭露的桩端持力层或软弱下卧层层位变化较大时,应适当加密勘探点。带有裙房或外扩地下室的高层建筑,布设勘探点时应与主楼一同考虑。

6.0.4 一般性勘探孔的深度应进入桩端持力层或预计最大桩端入土深度以下不少于 3m,控制性勘探孔深度应达到桩基沉降计算深度以下 1~2m。当以桩身强度控制设计并以压桩力或贯入度控制桩长时,应适当加深勘探孔的深度。

在上述规定勘探深度范围内遇基岩或厚层密实碎石土等稳定地层时,勘探孔深度可根据实际情况进行调整。

6.0.5 详细勘察应采用钻探与原位测试相配合并应符合下列规定:

1 对位于江河高阶地地段、设计等级为甲、乙级的建筑物和需验算地基变形的丙级建筑物的勘探手段应采用钻探取样为主,静力触探和其他原位测试为辅的方法。

对位于江河低阶地及与江河低阶地相类似的平原地区,勘探手段可侧重采用静力触探和其他原位测试,并与钻探取样相结合。

2 钻孔中遇到粉土、砂土、硬塑~坚硬粘性土、残积土及强风化层时,应进行标准贯入试验,一般每 2m 测试 1 次,当锤击数已达 n 击(n 应大于等于 50 击),而贯入深度未达 30cm 时,可终止试验,并记录 n 击的实际贯入深度,按下式换算成 30cm 的标准贯入试验锤击数 N :

$$N = \frac{30}{\Delta S} n \quad (6.0.5)$$

式中:

ΔS —— n 击时的实际贯入度(cm)。

标准贯入试验锤击数不进行杆长修正。

3 钻孔中遇到杂填土、碎石土、卵石、圆砾和角砾时,应进行重型或超重型动力触探试验。对重型动力触探,当连续三次锤击数大于 50 击时,可终止试验或改用超重型动力触探,钻孔深度仍应符合本规程 6.0.4 条规定。采用重型或超重型动力触探试验确定土层密实时,应按 GB50021 对锤击数进行修正。

6.0.6 每个场地(高层建筑为每一单体)每一主要土层的原状土试样或原位测试数据不应少于 6 组(次)。

6.0.7 当桩端以下存在软弱下卧层时,应采用综合勘探手段查明软弱下卧层的分布、厚度及其工程特性。当桩端以下为可溶性岩时,应加密取样间距或进行原位测试获取桩端至岩面间连续的原位测试数据。

6.0.8 建筑场地或其附近存在影响工程安全的岩溶、滑坡等不良地质作用时,应按 GB50021 和《岩

土工程勘察工作规程》DB42/169 有关规定进行场地稳定性评价，查明其对桩基的危害程度，必要时应进行专门勘察。

6.0.9 岩土工程勘察报告应包括下列主要内容：

- 1 场地稳定性和适宜性的评价，可能影响工程稳定的不良地质作用的描述和对工程危害程度的评价。划分建筑场地类别。**
- 2 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质及其均匀性；提供各层岩土的主要物理力学性质指标、原位测试成果图表。**
- 3 提供管桩的摩阻力特征值、端阻力特征值和桩基沉降计算参数。若桩端持力层以下有软弱夹层时，应提供该软弱夹层的承载力特征值和压缩性指标。**
- 4 评价沉桩的可能性，论证桩的施工条件及其对环境的影响。**
- 5 查明水文地质条件，评价地下水对桩基设计和施工的影响，判定水质对建筑材料的腐蚀性。**

6.0.10 岩土工程勘察报告尚应包括下列内容：

- 1 对地基的均匀性进行评价，对桩端持力层选择提出建议，并预估单桩承载力特征值；当桩端持力层为倾斜岩土层时，应对桩基的稳定性进行评价，对桩基施工提出建议；对桩端持力层为残积土、强风化或中风化软岩及粘性土时，应对遇水易软化的可能性进行评价。**
- 2 勘探点平面布置图、工程地质剖面图、工程地质柱状图，必要时提供持力层或关键地层等高线图和等厚度线图及岩芯彩色照片等。**

7 管桩基础设计

7.1 一般规定

7.1.1 管桩的布置应符合下列规定：

1 管桩的中心距应符合表 7.1.1 的规定

表 7.1.1 管桩的最小中心距

管桩基础情况	桩的最小中心距
摩擦桩	$4.5D$
排数不少于 3 排且桩数不少于 9 根的端承摩擦桩	$4.0D$
其他情况	$3.5D$
注：①桩中心距指两根桩横截面中心之间的距离， D 为管桩的外径； ②考虑桩土共同作用的减沉疏桩基础、复合桩基或深厚淤泥及淤泥质土中的桩基，桩距宜适当加大。	

2 单个承台下的桩数不宜少于 2 根，当采用一柱一桩时桩径不应小于 500mm，且不宜小于柱截面长边或直径。

3 布置桩位时，宜使桩基的承载力合力点与竖向永久荷载合力作用点重合，且宜将桩布置于柱、墙下或基础梁下。需在底层门窗洞口下布桩时，除需计算基础梁强度外，尚应加强基础梁和墙体刚度。

4 对于框筒、框剪结构高层建筑桩基，宜加强核心筒区域的桩基刚度(如适当增加桩长、桩径、桩数等)。

7.1.2 桩端进入持力层的深度，对坚硬粘性土、密实砂类土、碎石类土、强风化岩不应小于 $1D$ ，且不应小于 500mm，当上述持力层倾斜度较大时，宜适当加大桩端进入持力层的深度。对其他土层宜为 $1\sim 3D$ 。

当存在软弱下卧层时，桩端下持力层的厚度应满足下卧层强度及变形要求，且不宜小于 $4D$ 。

7.1.3 桩顶嵌入承台不应小于 50mm，受水平力较大时，不应小于 100mm。

7.1.4 受压管桩与承台连接采用插筋方式时，插入管桩顶填芯混凝土长度不宜少于 1.2m，宜采用热轧带肋钢筋作连接钢筋，配筋率按桩外径实心截面计算不应小于 0.6%。钢筋锚入承台内的长度应满足 GB50010 中钢筋锚固长度的要求。填芯采用补偿收缩混凝土，强度等级不应低于 C30 且不应低于承台和承台梁的混凝土强度等级。

7.1.5 一根桩的接头不宜超过 3 个(不包括锚杆静压管桩)。不宜利用截桩余下的部分作接长使用。

7.1.6 管桩上下节拼接可采用端板焊接连接、法兰连接或机械接头连接，接头应确保管桩内纵向钢筋与端板能有效传力，接头连接强度应大于管桩桩身强度。

7.1.7 管桩桩尖应根据场区地层和布桩情况设置，可采用闭口型或开口型桩尖。当桩端位于饱和砂类土或遇水易软化的土层时，以及桩具有抗拔功能时，应选用闭口桩尖，且在桩端浇注 1.2m 厚度以上的补偿收缩混凝土或中粗砂拌制的水泥砂浆，混凝土强度等级不宜低于 C20，水泥砂浆强度等级不宜低于 M15。

7.1.8 闭口桩尖分为平底型、平底十字型及锥形等，视沉桩需穿过的土层性质、打(压)桩力的大小而定，桩尖钢板厚度不宜小于 16mm，且应满足沉桩过程对桩尖的刚度和强度要求。

7.1.9 承台与承台之间的连接应符合下列要求：

- 1 一柱一桩时，应在桩顶两个相互垂直方向上设置连系梁，两桩承台应在其短向设置连系梁。
- 2 有抗震设防要求的柱下桩基承台，宜沿两个主轴方向设置联系梁。
- 3 连系梁顶面宜与承台顶面位于同一标高，连系梁宽度不宜小于 250mm，其高度可取承台中心距的 1/10~1/15，且不宜小于 400mm。
- 4 连系梁配筋应按计算确定，梁上、下部配筋均不应小于 2 根直径 12mm 钢筋，并满足最小配筋率要求。

7.2 桩顶作用效应计算

7.2.1 无特殊水平荷载作用的建筑物的群桩基础，应按下列公式计算群桩中单桩的桩顶作用效应。

1 竖向力

轴心竖向力作用下

$$Q_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (7.2.1-1)$$

偏心竖向力作用下

$$Q_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} Y_i}{\sum Y_j^2} \pm \frac{M_{yk} X_i}{\sum X_j^2} \quad (7.2.1-2)$$

2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (7.2.1-3)$$

式中：

F_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用于承台顶面的竖向力；

G_k ——桩基承台自重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；

Q_k ——相应于荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，任一单桩的竖向力；

Q_{ik} ——相应于荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 根单桩的竖向力；

M_{xk} 、 M_{yk} ——相应于荷载效应标准组合时，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 单桩截面形心至 y 、 x 轴的距离；

H_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用于桩基承台底面的水平力；

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；

n ——桩基中的桩数。

7.2.2 对于抗震设防区主要承受竖向荷载的桩基，其桩顶作用效应的计算应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定。

7.3 桩基竖向承载力计算

7.3.1 单桩竖向承载力计算应符合下列表达式

1 荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

$$Q_k \leq R_a \quad (7.3.1-1)$$

偏心竖向力作用下除满足上式外，尚应满足下式

$$Q_{k\max} \leq 1.2R_a \quad (7.3.1-2)$$

式中：

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

R_a ——单桩竖向承载力特征值。

2 地震作用效应和荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

$$Q_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (7.3.1-3)$$

偏心竖向力作用下除满足上式外，尚应满足下式

$$Q_{Ek\max} \leq 1.5R_a \quad (7.3.1-4)$$

式中：

Q_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下的平均单桩竖向力；

$Q_{Ek\max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下的最大单桩竖向力。

7.3.2 以单桩竖向抗压静载试验确定单桩竖向承载力时，单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按下式计算：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (7.3.2)$$

式中：

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力；

K ——安全系数，取 $K=2$ 。

7.3.3 当承台下的土层为稳定的非淤泥及淤泥质土层，对于符合下列条件之一的摩擦型桩基，可考虑承台效应，按复合桩基设计。

- 1 上部结构整体刚度较好的体型简单的建筑物；
- 2 对于差异变形适应性较强的排架结构和柔性构筑物；
- 3 按变刚度调平原则设计的桩基刚度相对弱化区；
- 4 软土地基的减沉复合疏桩基础。

考虑承台效应时承台底土的抗力可按下列式确定：

$$Q_{as} = \eta_c f_{ak} A_j \quad (7.3.3)$$

η_c ——承台效应系数，可按表 7.3.3 取值；

f_{ak} ——承台下 1/2 承台宽度且不超过 5m 深度范围内地基土承载力特征值的加权平均值；

A_j ——承台底净面积。

表 7.3.3 承台效应系数 η_c

$\begin{matrix} S_a/D \\ B_c/l \end{matrix}$	3	4	5	6	>6
≤ 0.4	0.06~0.08	0.14~0.17	0.22~0.26	0.32~0.38	0.50~0.80
0.4~0.8	0.08~0.10	0.17~0.20	0.26~0.30	0.38~0.44	
>0.8	0.10~0.12	0.20~0.22	0.30~0.34	0.44~0.50	
单排桩条形承台	0.15~0.18	0.25~0.30	0.38~0.45	0.5~0.6	
注：①表中 S_a/D 为桩中心距与桩径之比； B_c/l 为承台宽度与有效桩长之比。非正方形布桩时， $S_a=\sqrt{\frac{A}{n}}$ ， A 为承台面积， n 为承台下桩数。					
②对于桩布置于墙下的箱、筏承台， η_c 可按单排桩条形承台取值。					
③除非挤土植桩外，对饱和粘性土表内数据应按低值乘以 0.8 的系数。					
④当沉桩或基坑开挖引起承台底土隆起较大时， $\eta_c=0$ 。					

7.4 单桩竖向抗压承载力

7.4.1 单桩竖向抗压极限承载力应通过单桩竖向抗压静载荷试验确定，试验按 DB42/269 有关规定执行并宜压至破坏，单栋建筑物同一类型桩的试验数量不应少于 3 根，预估总桩数少于 50 根时，不应少于 2 根。

7.4.2 在初步设计或根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗压承载力特征值时，宜按下列公式估算：

R_a = u \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A'_G (7.4.2)

式中：

q_{sia}——第 i 层土的侧阻力特征值，可按表 7.4.2-1 取值；当桩周存在液化土层时，应按 JGJ94 的有关规定进行折减；

q_{pa}——端阻力特征值，按地区经验取值，武汉市及江汉平原可按表 7.4.2-2 取值；

A'_G——桩端横截面面积(含土塞面积)；

u——桩身横截面周长；

l_i——桩侧第 i 层土中的桩长。

桩侧阻力和桩端端阻力宜埋设桩身轴力测试元件通过静载试验确定；可通过测试结果建立侧阻力和端阻力与土层物理指标，以及与静力触探等土的原位测试指标间的经验关系。

表 7.4.2-1 管桩的侧阻力特征值 q_{sia} (kPa)

土的名称	土的状态		桩的侧阻力特征值
填土			10~14
淤泥			6~8
淤泥质土			9~15
粘性土	$0.75 < I_L \leq 1$		15~20
	$0.50 < I_L \leq 0.75$		20~30
	$0.25 < I_L \leq 0.50$		30~35
	$0 < I_L \leq 0.25$		35~40
	$I_L \leq 0$		40~50
红粘土	$0.7 < a_w \leq 1$		6~16
	$0.5 < a_w \leq 0.7$		16~37
粉土	$P_s \leq 1$		11~20
	$1 < P_s \leq 2.5$		20~28
	$P_s > 2.5$		28~40
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	18~25
	中密	$15 < N \leq 30$	25~35
	密实	$N > 30$	35~45
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	27~37
	密实	$N > 30$	37~48
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	37~48
	密实	$N > 30$	48~58
砾砂	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 15$	30~50
	中密(密实)	$15 < N_{63.5}$	58~69
圆砾、角砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	80~100
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	100~150
软质岩残积土		$25 < N \leq 35$	50~60
硬质岩残积土		$35 < N \leq 50$	70~80
强风化软质岩		$N \geq 35$	80~120
强风化硬质岩		$N \geq 50$	110~150
注: a_w 为含水比, $a_w = w/w_1$ 。			

表 7.4.2-2 桩的端阻力特征值 $q_{pa}(\text{kPa})$

土名称	土的状态	管桩入土深度(m)			
		h≤10	10<h≤15	15<h≤30	h>30
粘性土	$0.50<I_L\leq0.75$	400~800	700~1000	900~1300	1100~1600
	$0.25<I_L\leq0.50$	700~1000	900~1400	1200~1800	1700~2000
	$0<I_L\leq0.25$	1000~1500	1400~2200	1900~2500	2400~2900
	$I_L\leq0$	1400~1900	1800~2500	2400~2800	2600~3100
粉土	$1<P_s\leq2.5$	500~800	700~1000	900~1500	1400~1700
	$P_s>2.5$	600~1100	1000~1500	1400~1800	1700~2000
粉砂	稍密	500~900	800~1300	1100~1500	1400~1700
	中密、密实	700~1100	1000~1600	1500~2300	2200~2800
细砂	中密、密实	1300~2000	1900~2500	2400~2900	2700~3300
中砂		1800~2600	2500~3300	3100~3900	3700~4300
粗砂		2800~3700	3600~4200	4100~4900	4800~5200
砾砂		3000~5000		4500~5500	
角砾、圆砾		3500~6000		5000~6500	
碎石、卵石	$N_{63.5}>10$	4500~6500		5500~7500	
软质岩	强风化	2000~4000			
硬质岩	强风化	2500~5500			

注：1、本表适用于桩端进入持力层 3d 左右时的端阻力。
2、以压桩力或贯入度控制桩长，且以桩身强度控制设计时，当桩端进入低压缩性土层较深时，表内数据可提高 30%~90%，桩端进入持力层深度大时取大值，并应通过静载试验验证。

7.4.3 当桩端持力层为中密及中密以上砂类土、碎石土、硬塑和坚硬的老粘性土、风化岩，且持力层以下的土层承载力不低于持力层承载力时，宜以桩身强度控制设计，可采用压桩力或贯入度控制桩长。对以桩身强度控制设计的短桩，桩距宜适当加大。

为试桩预估压桩力时，可按表 7.4.3 估算。

表 7.4.3 预估压桩力与单桩极限承载力关系

桩入土深度(m) 桩端土类型	≤ 8	$8 \sim 20$	$20 \sim 30$	> 30
粘性土	$(1.2 \sim 1.4)Q_{uk}$	$(1.1 \sim 1.2)Q_{uk}$	$(1.0 \sim 1.1)Q_{uk}$	$(0.9 \sim 1.0)Q_{uk}$
砂类土	$(1.2 \sim 1.5)Q_{uk}$	$(1.2 \sim 1.3)Q_{uk}$	$(1.1 \sim 1.2)Q_{uk}$	$(1.0 \sim 1.1)Q_{uk}$

注：①表中 Q_{uk} 为预估单桩极限承载力；
②桩径大或桩长较短者压桩力取大值，砂卵石取小值。

7.5 特殊条件下桩基竖向承载力验算

7.5.1 对于桩距不大于 $6d$ 的群桩基础，当桩端平面以下受力土层范围内存在软弱下卧层时，应按下式验算软弱下卧层的承载力。

$$\sigma_z + \gamma_i(l+t) \leq f_a$$

(7.5.1-1)

$$\sigma_z = \frac{(F_K + G_k) - 2(A_0 + B_0) \cdot \sum 0.75 q_{sik} l_i}{(A_0 + 2t \cdot \tan \theta)(B_0 + 2t \cdot \tan \theta)} \quad (7.5.1-2)$$

式中：

σ_z ——作用于软弱下卧层顶面的附加应力，见图 7.5.1；

γ_i ——软弱层顶面以上各土层重度（地下水位以下取浮重度）按土层厚度计算的加权平均值；

l_i ——桩在非液化土、非欠固结土、非自重湿陷性土中的长度；

f_a ——软弱下卧层经深度修正的地基承载力特征值；深度修正系数按 GB50007 的规定取值。

A_0 、 B_0 ——桩群外缘矩形面积的长、短边长见图 7.5.1；

θ ——桩端硬持力层压力扩散角，按表 7.5.1 取值；

t ——桩端以下持力层厚度；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，无经验时按本规程表 7.4.2-1 取值， $q_{sik} = 2q_{sia}$ 。

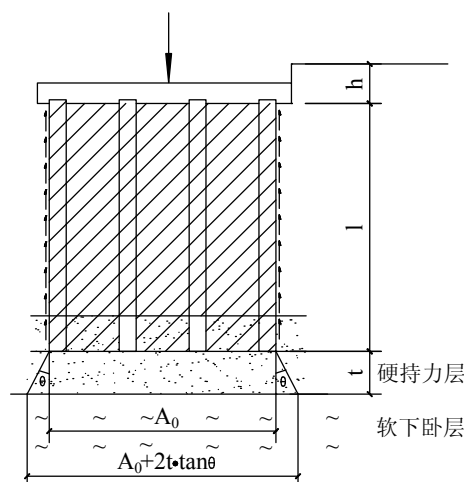


图 7.5.1 软弱下卧层承载力验算

表 7.5.1 桩端硬持力层压力扩散角 θ

E_{s1}/E_{s2}	$t=0.25B_0$	$t \geq 0.50B_0$
1	4°	12°
3	6°	23°
5	10°	25°
10	20°	30°
注：① E_{s1} 、 E_{s2} 为硬持力层、软弱下卧层的压缩模量； ② 当 $t < 0.25B_0$ 时， θ 降低取值，当 $0.25B_0 \leq t < 0.50B_0$ 时，可内插取值； ③ 当 $t > 3m$ 时，可按 DB42/242 的有关规定取值。		

7.5.2 符合下列条件之一的桩基，在计算基桩承载力时应考虑桩侧负摩阻力。

- 1 桩穿越较厚松散填土、欠固结土层进入相对较硬土层时；
- 2 桩周存在软弱土层，邻近桩侧地面承受局部较大的长期荷载，或地面大面积堆载（包括填土）时；
- 3 由于降低地下水位，使桩周土产生显著压缩沉降时。

7.5.3 桩周土沉降可能引起桩侧负摩阻力时，应按 JGJ94 的有关规定考虑负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响。

7.5.4 承受拔力的桩基，应按下列公式验算单桩的抗拔承载力：

$$N_k \leq R_B \quad (7.5.4)$$

式中：

N_k ——相应于荷载效应标准组合时单桩上拔力；

R_B ——单桩的竖向抗拔承载力特征值，根据本规程 7.5.5 条确定。

当一个承台下的桩数多于 16 根时，尚应进行群桩抗拔验算。

7.5.5 单桩竖向抗拔承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 单桩竖向抗拔承载力特征值应通过单桩竖向抗拔静载荷试验确定。试验方法应符合 DB42/269 的有关规定，试验数量不少于 3 根。工程桩不得用作抗拔静载荷试验的试桩。

2 初步设计时可按下式估算单桩竖向抗拔承载力特征值：

$$R_B = u \sum \lambda_i q_{sia} l_i + G_p \quad (7.5.5-1)$$

式中：

λ_i ——抗拔系数，按表 7.5.5-1 取值；

q_{sia} ——桩侧表面第 i 层土抗压侧阻力特征值，按本规程表 7.4.2-1 取值；

u ——桩横截面周长；

l_i ——第 i 层土厚度；

G_p ——基桩自重，地下水位以下扣除水的浮力。

表 7.5.5-1 抗拔系数 λ_i

土类别	λ_i
砂类土	0.50~0.70
粘性土、粉土	0.70~0.80

注：桩长 l 与桩径 d 之比小于 20 时， λ_i 取小值。

3 单桩竖向抗拔承载力特征值应符合下式要求：

$$R_B \leq A_p \cdot \frac{f_{py}}{1.35} \cdot \frac{1}{K_B} \quad (7.5.5-2)$$

式中：

A_p ——纵向预应力钢筋总截面面积；

f_{py} ——预应力钢筋抗拉强度设计值；

K_B ——单桩上拔力增大系数，按表 7.5.5-2 取值。

表 7.5.5-2 单桩上拔力增大系数

结构设计使用年限	≥100 年	50 年	25 年	临时性结构
K_B	1.3	1.2	1.1	1.0

7.5.6 抗拔桩宜采用 AB 型、B 型或 C 型 PHC 桩或 PC 桩。

7.5.7 抗拔桩桩顶应埋入承台内 50~100mm。

7.5.8 沉桩施工中，当抗拔桩桩顶位于预定的设计标高，不需截桩时，宜在桩顶接头端板上按图 7.5.8 焊接钢板与锚筋。钢板与锚筋的焊接以及钢板与端板的焊接应按等强度设计。也可以采用其他有效的连接方式。

锚筋直径不宜小于 12mm，且不应少于 4 根，其总截面面积应满足下式要求：

$$A_m \geq \frac{1.35R_B}{f_y} \quad (7.5.8)$$

式中：

R_B ——按本规程第 7.5.5 条确定的单桩竖向抗拔承载力特征值；

f_y ——锚筋的抗拉强度设计值。

7.5.9 沉桩施工中，当抗拔桩桩顶高于桩顶设计标高，需要截桩时，设计应符合下列规定：

1 截桩时应保留桩身全部预应力钢筋，预应力钢筋可以斜线形或斜折线形埋入承台内。锚入承台内的锚固长度可按下列式计算：

$$l_a = \frac{190R_B}{f_t A_p} d \quad (7.5.9)$$

式中：

d ——预应力钢筋公称直径；

R_B ——单桩竖向抗拔承载力特征值(kN)；

f_t ——承台混凝土轴心抗拉强度设计值(N/mm²)；

A_p ——预应力钢筋公称截面面积(mm²)。

预应力钢筋的锚固长度 l_a 尚不应少于 500mm 和 50d；以斜折线形锚入承台时，其锚固长度 $(0.4l_a + 15d)$ 亦不应少于 500mm 和 50d。

桩头的锚固构造应符合图 7.5.9 的要求。

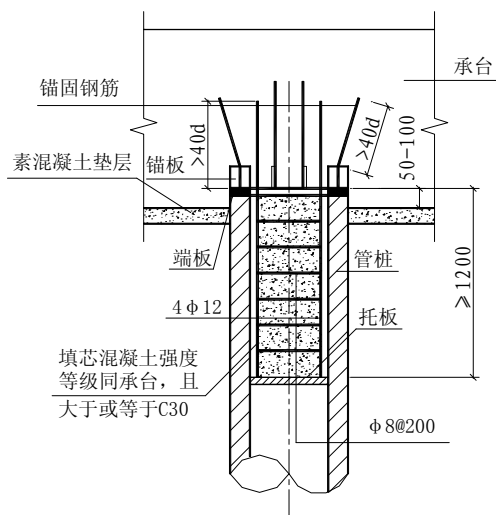


图 7.5.8 不截桩桩顶与承台连接构造

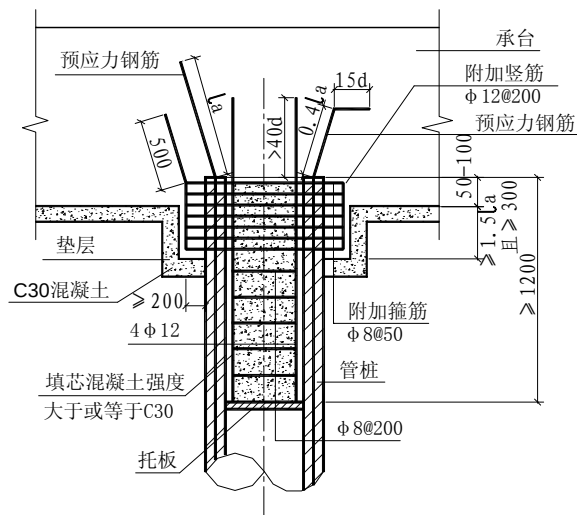


图 7.5.9 截桩桩顶与承台连接构造

2 截桩后桩端预应力的损失范围可采用预应力传递长度，预应力传递长度按下式计算：

$$l_{er} = a \frac{\sigma_{pe}}{K' f'_{tk}} d \quad (7.5.9)$$

式中：

σ_{pe} ——放张时预应力钢筋的有效预应力；

α ——预应力钢筋的外形系数，取 0.14；

f'_{tk} ——混凝土立方体抗压强度 f'_{cu} 相应的轴心抗拉强度标准值，按 GB50010 有关规定确定。

- 3 桩端预应力传递长度范围应按图 7.5.9 进行处理或采取其他有效的抗裂加强措施。
- 4 截桩时应采取有效措施防止损坏预应力钢筋及桩顶以下混凝土的完整性。
- 5 抗拔桩的焊接接头，接头焊缝应适当加厚，突出端板外径不小于 5mm。
- 6 当截桩后预应力钢筋锚固长度不够时，可采取保留端板或局部降低承台底标高的方法加以处理。

7.6 桩身承载力与裂缝控制验算

7.6.1 桩身应进行承载力和裂缝控制验算。验算时除按本规程有关规定执行外，尚应符合国家标准 GB50010 和 GB50011 的有关规定。

7.6.2 使用阶段轴心受压桩正截面受压承载力应符合下式要求：

$$Q \leq \rho_c A_G (f_{cu,k} - \sigma_{pc}) \quad (7.6.2)$$

式中：

Q ——相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向力设计值；

A_G ——管桩横截面面积；

ρ_c ——工作条件系数，取 0.3，植入成桩时取 0.4。

7.6.3 计算轴心受压桩正截面受压承载力时，稳定系数为 1.0，对于桩身穿越可液化土或承台下为不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层的基桩，应按 JGJ94 考虑压屈影响。

7.6.4 计算偏心受压桩正截面受压承载力时，不考虑偏心距的增大影响。对于桩周为可液化土的端承型桩，应考虑桩身在弯矩作用平面内的挠曲对轴向力偏心距的影响，应将轴向力对截面重心的初始偏心距 e_i 乘以偏心距增大系数 η ，偏心距增大系数 η 的计算方法应符合 GB50010 的有关规定。

7.6.5 二类环境中，桩身裂缝控制等级为二级、一级。抗拔桩、设计使用年限为 100 年的工程的桩，桩身裂缝控制等级为一级。五类环境中，桩身裂缝控制等级为一级，且应符合现行《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046 的有关规定。临时结构桩身裂缝控制等级为三级。其他桩的桩身裂缝控制等级为二级。

7.6.6 桩身裂缝控制计算应符合下列规定：

1 对于严格要求不出现裂缝的一级裂缝控制等级的基桩，在荷载效应标准组合下混凝土不应产生拉应力即符合下式要求：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (7.6.6-1)$$

2 对于一般要求不出现裂缝的二级裂缝控制等级基桩，在荷载效应标准组合下的拉应力不应大于混凝土轴心受拉强度标准值，即符合下式要求：

$$\text{在荷载效应标准组合下：} \sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (7.6.6-2)$$

$$\text{在荷载效应准永久组合下：} \sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (7.6.6-3)$$

式中：

σ_{ck} 、 σ_{cq} ——荷载效应标准组合、准永久组合下正截面法向拉应力；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

3 对于裂缝控制等级为一级、二级的管桩，当采用锤击沉桩且试桩锤击数大于 2000 击(PHC 桩)、1500 击(PC 桩)或最后 1m 锤击数大于 200 击时，尚应按 JGJ94 的有关规定验算桩身的锤击压应力和锤击拉应力。

4 对于允许出现裂缝的三级裂缝控制等级的基桩，按荷载效应标准组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度应符合下列规定：

$$w_{\max} \leq w_{\lim} \quad (7.6.6-4)$$

式中：

$w_{\max}$ ——按荷载效应标准组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度；

$w_{\lim}$ ——最大裂缝宽度限值 $w_{\lim} = 0.2\text{mm}$ ，临时性结构(基坑支护桩除外)取 $w_{\lim} = 0.3\text{mm}$ 。

7.6.7 当进行桩身截面的抗震验算时，应根据现行 GB50011 考虑桩身承载力的抗震调整。当为抗压桩时，承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}=0.8$ ；抗拔桩及受水平力的桩 $\gamma_{RE}=0.85$ 。

7.6.8 承受较大水平力的桩，应在单桩水平承载力静载试验中检验桩身受弯、受剪承载力。

桩身受弯、受剪承载力的验算应符合以下规定：

1 对于桩顶固端的桩应验算桩顶正截面弯矩；对于桩顶自由或铰接的桩应验算桩身最大弯矩截面处的正截面弯矩。

2 正常情况下，在水平力作用下桩身强度由桩身抗弯承载力控制，可不进行桩身抗剪验算。桩身所承受最大弯矩的计算，应符合 JGJ94 的有关规定。

3 桩身正截面受弯承载力的验算应符合 GB50010 的有关规定及本规程第 5.5.7 条的规定。

7.7 桩基沉降计算

7.7.1 预应力管桩基础的建筑物沉降变形计算值不应大于桩基变形允许值。

7.7.2 桩基沉降变形可用下列指标表示：

1 沉降量；

2 沉降差；

3 整体倾斜；

4 局部挠曲(墙下条形承台沿纵向某一长度范围内的连续三点，其中间点与两端点连线之间的沉降差与两端点距离之比)。

7.7.3 计算桩基沉降变形时，桩基变形指标应按以下规定选用：

对于砌体承重结构应由局部挠曲、整体倾斜和基础中点沉降量控制；对于多层、高层建筑或高耸结构应由整体倾斜和基础中点沉降量控制，尚应控制柱(墙)之间的差异沉降。

7.7.4 桩基沉降变形允许值，应按表 7.7.4 规定采用。

表 7.7.4 建筑桩基沉降变形允许值

变形特征		允许值
砌体承重结构基础的局部挠曲		0.001
各类建筑相邻柱(墙)基的沉降差		
(1)框架、框剪、框筒结构		$0.002l_0$
(2)砌体填充的边排柱		$0.0007l_0$
(3)当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构		$0.005l_0$
单层排架结构(柱距为 6m)桩基的沉降量(mm)		120
桥式吊车轨道的倾斜(按不调整轨道考虑)		
纵向		0.004
横向		0.003
多层和高层建筑的整体倾斜	$H_g \leq 24$	0.004
	$24 < H_g \leq 60$	0.003
	$60 < H_g \leq 100$	0.0025
	$H_g > 100$	0.002
高耸结构的整体倾斜	$H_g \leq 20$	0.008
	$20 < H_g \leq 50$	0.006
	$50 < H_g \leq 100$	0.005
	$100 < H_g \leq 150$	0.004
	$150 < H_g \leq 200$	0.003
	$200 < H_g \leq 250$	0.002
多层及高层建筑基础中点计算沉降量(mm)		200
高耸结构基础的沉降量(mm)	$H_g \leq 100$	350
	$100 < H_g \leq 200$	250
	$200 < H_g \leq 250$	150
体型简单的剪力墙结构 高层建筑桩基最大沉降量(mm)		200
注: l_0 为相邻柱(墙)二测点间距离, H_g 为自室外地面算起的建筑物高度(m)。		

7.7.5 对于表 7.7.4 中未包括的建筑桩基允许变形值,应根据上部结构对桩基沉降变形的适应能力和使用要求确定。

7.7.6 对于桩中心距小于和等于 6 倍桩径的群桩桩基,其最终沉降量可采用等代实体基础,按分层总和法进行计算,计算方法应符合 DB42/242 的有关规定。

最终沉降量也可按 JGJ94 规定的等效作用分层总和法进行计算,但挤土效应系数取 1。

7.7.7 当承台地基土分担荷载按复合桩基计算最终沉降量时,可采用 Mindlin 解考虑桩径影响,计算基桩引起的某点附加应力,采用 Boussinesq 解计算承台引起的某点附加应力,取两者叠加,按单向压缩分层总和法计算该点的最终沉降量。计算方法应符合 JGJ94 的有关规定。

7.8 桩基水平承载力与位移计算

7.8.1 无特殊水平荷载作用的建筑物中的单桩基础和群桩中的基桩应满足下式要求:

$$H_{ik} \leq R_h \quad (7.8.1)$$

式中:

H_{ik} ——在荷载标准组合下,作用于第 i 基桩桩顶处的水平力;

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值,单桩基础 $R_h = R_{ha}$;

R_{ha} ——单桩水平承载力特征值。

7.8.2 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定，试验数量不应少于 3 根，试验不应在工程桩上进行，试验方法应符合 DB42/269 的有关规定。

2 根据单桩水平静载试验结果，可取地面处水平位移为 10mm(对于水平位移敏感建筑物取 6mm)所对应的荷载的 75%为单桩水平承载力特征值。

3 当桩的水平承载力由水平位移控制，初步设计时可按 JGJ94 的有关规定和本规程附录 B 估算单桩承载力特征值，估算单桩水平承载力时，应取桩顶铰接的数据。

4 确定永久荷载控制的桩基水平承载力时，应将按 2 款方法确定的单桩水平承载力特征值乘以调整系数 0.8，验算地震作用桩基的水平承载力时，应将上述方法确定的单桩水平承载力特征值乘以 1.25 的调整系数。

7.8.3 群桩基础(不含水平力垂直于单排桩基纵向轴线和水平力较大的情况)的基桩水平承载力特征值应考虑由承台、桩群、土相互作用产生的群桩效应，可按下列公式确定：

$$R_h = \eta_h R_{ha} \quad (7.8.3)$$

式中：

η_h ——群桩效应综合系数，按 JGJ94 的有关规定确定。

7.8.4 对于受特殊水平荷载作用的带地下室的高大建筑物桩基，可考虑地下室侧墙、承台、桩群、土共同作用，按 JGJ94 的有关规定计算基桩内力和变位。

7.8.5 当管桩受临时水平力作用时，其容许的弯矩设计值可按 GB50010 的有关规定进行计算，也可采用本规程附录 G 的设计弯矩。

8 沉桩施工

8.1 一般规定

8.1.1 沉桩施工前，应进行下列前期工作：

- 1 调查场地及毗邻区域内的地下及地上管线、建筑物及障碍物、可能受沉桩施工影响的情况，并提出相应的技术安全措施。
- 2 处理或清除场地内影响沉桩的高空及地下障碍物。
- 3 场地的地面应平整，表层土承载能力应满足桩机稳定的要求，使用静压桩机时表层土承载力特征值不宜小于 100kPa，当桩机重量大于 4000kN 时，表层土承载力特征值不宜小于 120kPa，否则应用碎石或建筑碴土进行回填并辗压密实后方可施工。应防止压桩机工作中对沉桩或已沉入桩的质量造成不利影响。在填方边坡上沉桩时，填方坡顶距桩位不宜小于 10m，且填方坡率不宜陡于 1:1，必要时应加宽填土宽度。
- 4 在不受施工影响的位置设置坐标、高程控制点及轴线定位点，对可能受影响的控制点应经常进行复核。
- 5 根据工程具体情况编制施工组织设计或施工方案。
- 6 排水、道路、临设工房等的安设。
- 7 向施工作业人员作技术安全交底。
- 8 对防汛有影响的工程，汛期施工时，应执行防汛工作的有关规定。

8.1.2 沉桩施工前，应具备下列文件和资料：

- 1 岩土工程勘察报告。
- 2 管桩基础的施工图、设计交底及图纸会审纪要。
- 3 施工组织设计或施工方案。
- 4 桩机设备（锤击桩机或静压桩机）的技术性能及有效的压力标定资料。
- 5 管桩的出厂合格证及产品说明书。
- 6 有关管桩承载力、施工工艺的试验资料。

8.1.3 当桩基施工可能影响邻近建筑物、地下管线的正常使用和安全时，应合理安排沉桩施工顺序，并采用引孔、隔离等减少震动和挤土影响的措施，必要时，可对建筑物进行加固处理。在毗邻边坡施工时，应随时观测施工对边坡的影响；在临近湖、塘的施工场区，要防止由于水位的升降及施工时挤土效应影响而产生桩位偏移和倾斜。

8.1.4 深基坑中的管桩工程，宜先施工工程桩再进行基坑开挖。

8.1.5 管桩工程的基坑开挖除应符合《基坑工程技术规定》DB42/159 及本规程第 4.0.18 条规定外，尚应符合下列要求：

- 1 不得边沉桩边开挖基坑。
- 2 粉土及饱和粘性土(含淤泥及淤泥质土)基坑开挖，应在沉桩全部完成 10d 后进行。
- 3 基坑开挖时应制定合理的施工方案和施工顺序，桩顶以上 1.0m 内的土方，应采用人工开挖与小型挖土机械相配合的方法施工。当桩顶高低不齐时，应采用人工逐批开挖出桩头，截桩后再行开挖。

8.1.6 对于桩身接头焊接外露部分宜作防锈处理。

8.1.7 根据试桩的沉桩试验及地层结构，考虑接头焊接的间歇可能造成沉桩困难的因素，合理配置

桩段。

8.1.8 对采用闭口桩尖的桩，当第一节桩插入土层后，应及时按本规程第 7.1.7 条的规定，在管桩内孔灌注混凝土或水泥砂浆。

8.1.9 上桩段沉入土层前，应在管桩上端内孔塞入可回收的泡沫塑料或袋装矿棉球等，保证泥土、杂物不得进入管桩内孔。

8.1.10 现场施工的安全、文物和环境保护等应按有关规定执行。

8.2 管桩的验收、吊运及堆放

8.2.1 管桩的现场验收、堆放及吊运应符合下列规定：

- 1 管桩出厂前应作出厂检查，其规格、批号、制作日期应符合相应的验收批号内容。
- 2 管桩运至施工现场时按设计要求进行检查验收，严禁使用有裂缝或缺陷的管桩。
- 3 管桩应按不同规格、长度及施工流程顺序分别堆放。
- 4 当场地条件许可时，宜单层堆放；叠层堆放及运输过程堆码时，外径 500~600mm 的管桩不宜超过 4 层，直径为 300~400mm 的管桩不宜超过 5 层。

5 应在垂直于管桩长度方向的地面上设置两道垫木，垫木应分别位于桩端 0.21 倍桩长处，底层最外缘的管桩应在垫木处用木楔塞紧，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。

8.2.2 取桩应符合下列规定：

- 1 管桩叠层堆放超过两层时，应采用吊机取桩，不得拖拉取桩。
- 2 叠层堆放的管桩不超过两层时，可拖拉取桩，桩的拖地端应用废轮胎等弹性材料进行保护。
- 3 三点支撑带自行式打桩机不宜拖拉取桩。
- 4 走管式打桩机拖拉取桩时，拉桩的钢丝绳必须通过设在桩架底盘的导向滑轮。

8.3 施工机具

8.3.1 应根据设计文件、岩土工程勘察报告、施工场地周边环境情况，选择适宜的沉桩机械。

8.3.2 对采用锤击法施工的管桩，锤击桩机的选用应符合以下要求：

- 1 施打管桩不宜采用自由落锤打桩机。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。
- 2 打桩锤宜选用筒式柴油锤、液压锤、高频锤等，其型号可按下列方法之一确定：
 - 1) 根据高应变试打分析结果选用。
 - 2) 根据岩土工程条件、单桩竖向承载力、桩的规格、入土深度等因素结合本规程，并遵循重锤低击的原则综合考虑后选用。附录 C 锤击沉桩锤重选择表可供参考。

8.3.3 采用静压法沉桩时，静压桩机的选用应符合以下要求：

- 1 静压桩机宜选用液压式桩机，可选用顶压式或抱压式，桩机的型号、最大压桩力必须满足桩身力学参数和设计要求，桩机总重不小于最大压桩力的 1.2 倍(不含静压桩机大履和小履的重量)。
- 2 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；采用抱压式桩机时，夹持机构中夹具应避开桩身两侧合缝的位置，PTC 桩不宜采用抱压式沉桩。

8.3.4 锤击法沉桩的桩帽及衬垫的设置，应符合下列要求：

- 1 桩帽应有足够的强度、刚度和耐打性。
- 2 桩帽宜做成圆筒型，套桩头用的筒体深度宜取 350~400mm，内径应比管桩外径大 20~30mm。

3 桩帽与桩端间应设置弹性衬垫。衬垫可采用麻袋、硬纸板、水泥纸袋、胶合板等材料制作，衬垫厚度应均匀且经锤击压实后的厚度不宜小于 120mm；在打桩期间应经常检查，并及时更换或补充。桩帽和桩锤之间应用竖纹硬木或盘圆层叠的钢丝绳作“锤垫”，其厚度宜取 150~200mm。

8.3.5 送桩器应符合下列规定：

- 1 送桩器应加工成与管桩匹配的圆筒形，并有足够的强度、刚度，长度应满足送桩深度的要求。
- 2 送桩器下端宜封闭，端面应与送桩器中心轴线相垂直。
- 3 送桩作业时，送桩器与管桩桩头之间应设置 1~2 层硬纸板等作衬垫。
- 4 对送桩较深的管桩工程，采用分段式送桩器时，其接头的强度和刚度应满足要求。

8.3.6 施工现场应配备电焊机、气割工具、索具、撬棍、钢丝刷、锯桩器等施工用具；每台桩机尚应配备必要的测量器具，可随时量测桩身的垂直度；截桩应采用专用截桩工具，严禁使用大锤敲击截桩。

8.4 沉桩

8.4.1 沉桩前应完成下列准备工作：

- 1 进行桩机试运转，认真检查桩机各部分的性能。
- 2 对静压桩机，应每半年对压桩力进行标定，合格后方可使用。
- 3 根据施工图编制整个工程的桩位编号图。
- 4 由测量人员分批或全部测定桩位，其偏差不得大于 20mm，同时测量场地地面标高。
- 5 施工时，应在桩身或桩架上划出以米为单位的长度标记，并按从下至上的顺序标明长度，并记录每米沉桩锤击数或油压值。

8.4.2 沉桩顺序应综合考虑下列原则后确定：

- 1 若桩较密集且距周围建筑物较远、施工场地较开阔时，宜从中间向四周进行。
- 2 若桩较密集且一侧靠近建筑物时，宜从毗邻建筑物的一侧开始由近及远地进行。
- 3 对临近湖、塘的场区，宜从远离湖、塘一侧由远及近进行。
- 4 按桩的入土深度，宜先深后浅。
- 5 按管桩的规格，宜先大后小。
- 6 按高层建筑塔楼与裙房的关系，宜先高后低。
- 7 应考虑桩机行走及工作时，桩机重量对邻近桩的影响，并采取相应的措施。

8.4.3 沉桩应符合下列规定：

- 1 桩机就位时，应对桩位进行复测。
- 2 沉桩时，管桩的倾斜率应严格控制，第一节管桩起吊就位插入地面时的倾斜率不得大于 0.5%，如果超差应及时调整，调整时必须确保桩身不裂，必要时应拔出重插；当桩尖进入硬土层后，严禁采用移动桩机等强行回扳的方法纠偏。
- 3 静压法施工沉桩速度不宜大于 2m/min。
- 4 沉桩时宜将每根桩一次性连续施工到底，尽量减少中间停歇时间，避免在接近设计深度时进

行接桩；遇有较难穿透的土层时，接桩宜在穿透该层土后进行。

5 桩数大于 30 根的群桩基础，承台边缘的桩宜待承台内其他桩施工完毕并重新测定桩位后再插桩施工。

6 沉桩至设计桩顶标高后，桩头高出地面的部分应小心保护，严禁施工机械碰撞桩头；严禁将桩头用作拉锚点；送桩遗留的孔洞，应立即回填或做好覆盖。

7 停沉标准应根据场地岩土工程条件、设计桩长、压桩力、贯入度等因素并综合考虑试桩参数后确定。沉桩中应有确认压桩力、贯入度是否满足设计要求的措施。

8 锤击沉桩每根桩的总锤击数不宜大于 2500 击（PHC 桩）、2000 击（PC 桩）、1500 击（PTC 桩），最后 1m 锤击数不宜超过 300 击（PHC 桩）、250 击（PC 桩）、200 击（PTC 桩）。不得使用方桩送桩器送管桩，沉桩中桩破损率应小于 3%。

9 施工时应由专职记录员及时准确地填写管桩沉桩记录表，并经当班监理人员(或建设单位代表)验证签名后方可作为有效施工记录。

静压管桩沉桩记录见附录 D，锤击管桩沉桩记录见附录 E。

8.4.4 遇下列情况之一应暂停沉桩，并及时与设计、监理等有关人员研究处理：

- 1 贯入度或油压值与试桩参数及岩土工程条件不符。
- 2 沉桩深度已达到预定深度，但贯入度或油压值未达到预定值。
- 3 桩头混凝土剥落、破碎，桩身出现裂缝。
- 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 总锤击数超过本规程第 8.4.3 条规定值。
- 7 桩身回弹曲线不规则。

8.4.5 送桩应符合下列规定：

- 1 当桩顶沉至接近地面需要送桩时，应测出桩的垂直度并检查桩顶质量，合格后立即送桩。
- 2 锤击沉桩的最后贯入度应参考同一条件下的桩不送桩时的最后贯入度予以修正；静压沉桩到达预定油压值后的稳压时间不少于 3 min，稳压时如油压值上升，可以停止沉桩。
- 3 送桩深度不宜超过 8m，送桩超深时，应采取有效的技术措施。

8.4.6 锤击沉桩的最后贯入度应在下列条件下测量：

- 1 桩头完好无损。
- 2 桩锤跳动正常。
- 3 桩锤、桩帽、送桩器及桩身中心线重合。
- 4 桩帽衬垫厚度等正常。
- 5 打桩结束前立即测定。

8.4.7 可用收锤回弹曲线测绘纸先测绘出管桩的回弹曲线，再从回弹曲线上量出贯入度。测绘结果应附在同一桩号的管桩施工记录表上。

8.4.8 对场区临近边界的桩，如压桩机无工作面，可以采用静压桩机的边桩器进行压桩，压桩前要确定边桩器的最大压桩力，如最大压桩力达不到设计要求，应研究处理。

8.4.9 场区土层有较厚密实砂层或坚硬土层的管桩工程，沉桩有困难或为了减小场区沉桩的挤土效应，可采用引孔沉桩或带液压振动器的压桩机辅助沉桩。引孔沉桩施工的孔径宜为管桩直径的 60%~80%，引孔深度应根据具体情况通过试桩确定，引孔的成孔垂直度偏差不得大于 0.5%。

8.4.10 焊接接桩除应符合现行标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ81、《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 中二级焊缝要求的有关规定外，尚应符合下列要求：

1 当管桩需要接桩时，其入土部分桩段的桩头宜高出地面 0.5~1.0m。

2 下节桩的桩头处宜设导向箍。接桩时上下节桩段应保持顺直，上、下节桩应接直焊牢，错位偏差不宜大于 2mm，逐节接桩时，节点弯曲矢高不得大于 1/1000 桩长，且不得大于 20mm。

3 管桩对接前，上下端板表面应用铁刷子清刷干净，坡口处应刷至露出金属光泽；上、下节桩间的缝隙应用铁垫片垫实焊牢。

4 焊接时宜先在坡口圆周上对称点焊 4~6 点，待上下节桩固定后拆除导向箍再分层施焊，施焊宜由两个焊工对称进行。

5 焊接层数不得少于两层，内层焊渣必须清理干净后方可施焊外层；焊缝应饱满连续。

6 手工电弧焊接时，应先对称点焊，第一层宜用直径 3.2mm 电焊条打底，确保根部焊透，第二层方可用粗焊条（直径 4mm 或 5mm），可采用 E43XX 型焊条，其质量应符合《碳钢焊条》GB/T5117 的规定。采用气体保护焊时，所用焊丝质量应符合《气体保护焊用钢丝》GB/T14598 的要求，焊接工艺应符合相关标准的规定。

7 焊好的桩接头应自然冷却后才可继续施工，自然冷却时间不应少于 1min；不得用水冷却或焊完即施工。

9 检验与监测

9.0.1 管桩运到工地后, 监理、施工单位应对进入工地的所有管桩的规格、型号、尺寸、外观质量、尺寸偏差、管桩堆放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。

9.0.2 应由有资质的检测单位对进入施工场地的管桩进行随机见证抽样检测, 检测应符合下列规定:

1 沉桩前, 每个厂家生产的每一种桩型随机抽取一节管桩桩节进行破坏性检测, 检测项目为预应力钢筋的抗拉强度、钢筋数量、钢筋直径(可检查每延米重量)、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, 应加倍检测, 若再发现不合格的桩节, 该批管桩不准使用并必须撤离现场。未经抽检不得施工工程桩。

2 沉桩过程中每栋建筑物应随机抽查已截下的桩头, 进行钢筋数量、钢筋直径、预应力钢筋抗拉强度、钢筋布置、端板尺寸及钢筋保护层厚度的检测, 检测数量每单体工程不应小于总管桩数的 1%, 且不得少于 3 根。

3 应对闭口桩尖的钢板厚度、桩尖尺寸、焊缝质量等进行检测, 检测数量每栋建筑物不应少于总桩数的 1%, 且不应少于 2 个桩尖。

4 检测的方法及判别标准应符合本规程及相关标准的规定。

9.0.3 工程桩施工前应按本规程第 7.4.1 条及 DB42/269 的有关规定进行单桩竖向抗压静载荷试验, 并应压至破坏。当拟采用高应变法进行单桩竖向抗压承载力的验收检测时, 应先对试桩进行高应变检测, 再进行单桩竖向静载荷试验并压至破坏, 取得可靠的动静对比资料后, 方可在验收检测中实施高应变法。对比试验数量不应少于 3 根, 当预估总桩数少于 50 根时, 不应少于 2 根。

当岩土工程条件简单且以压桩力控制桩长或岩土工程条件简单且有类似经验时, 可用工程桩进行单桩竖向抗压静载荷试验, 但应按 DB42/269 的规定增加一倍的检测数量, 检测应符合下列规定:

1 单栋建筑物每一条件下的桩的试验数量不应少于 6 根(总桩数少于 50 根时, 不少于 4 根), 其中有 3 根(总桩数少于 50 根时为 2 根)应在大量工程桩施工前进行试验。

2 岩土工程条件相同的同一场地多栋建筑物, 当工程桩条件相同时, 每栋建筑物的试验数量不应少于 2 根, 且每一施工单位所施工桩的检测数量不应少于 6 根。其中每栋建筑物有 1 根, 每个施工单位有 3 根桩应在大量工程桩施工前进行试验。高层建筑及试验结果离散性较大时, 应由设计单位酌情增加试验数量。

3 除去施工前进行的试验外, 余下的试验宜在工程桩施工完成并按桩顶设计标高截桩后随机抽检试验; 当基坑开挖较深、坑内试验困难时, 也可由设计单位指定桩位, 在工程桩施工过程中进行试验。

4 单栋建筑物某一条件下的桩的总数少于 30 根, 且为裙楼、附楼下的次要桩时, 至少应进行一根桩的静载荷试验。

5 当按上述要求进行试验后, 在施工正常的情况下, 工程桩可不再进行单桩承载力的验收检验。

6 不应采用高应变法部分或全部取代上述单桩竖向抗压静载荷试验的检测。

9.0.4 所有工程桩应逐根对桩孔内壁进行灯光照射目测或孔内摄影检查, 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, 注明发现缺陷的位置以及进土、进水的深度。

9.0.5 工程桩应进行桩位的验收检测。桩位偏差应符合表 9.0.5 的规定。

表 9.0.5 桩顶平面位置的允许偏差 (mm)

序 号	项 目	允许偏差
1	基础梁下单排或双排桩: 垂直基础梁中心线 沿基础梁中心线	100 150
2	一个承台下桩数为 1~3 根的桩基	100
3	一个承台下桩数为 4~16 根的桩基	边桩 100, 其他 1/3 桩径
4	一个承台下桩数多于 16 根的桩基: 角桩及边桩 中间桩	1/3 桩径或 150 中较大者 1/2 桩径
注: 对基础梁下的排桩沿梁轴线允许偏差、一个承台下多于 9 根桩以及筏板下的群桩其桩位允许偏差可由设计人员根据工程实际情况考虑增加 0.01H, H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离。		

9.0.6 工程桩的桩顶标高应进行检验, 其偏差不应超过+20mm、-50mm。

9.0.7 开挖基坑中应对工程桩的外露桩头或在桩孔内进行桩身垂直度检测, 抽检数量不应少于总桩数的 5%, 在基坑开挖中如发现土体位移或机械运行影响桩身垂直度时, 应加大检测数量。对倾斜率大于 3%的桩不应使用; 对倾斜率为 1%~2%(含 2%)及 2%~3%的桩宜分别进行各不少于 2 根的单桩竖向抗压静载荷试验, 并将试验得出的单桩抗压承载力乘以折减系数, 作为该批桩的使用依据。

载荷试验最大加载量应为设计要求的单桩极限承载力, 试验中可同时进行桩顶水平位移的测量。

9.0.8 永久结构的抗拔桩, 当设计抗拔力达到本规程附录 A 表 A-1、表 A-2 中规定的最大允许抗拔力的 50%时, 应对工程桩的接头焊缝进行质量检测, 检验数量不少于 6 根(每根桩一个接头), 且不少于总抗拔桩数的 1%。检验方法应符合 GB50202 的有关规定。

9.0.9 工程桩应进行单桩竖向抗压承载力的验收检验。检验应符合 DB42/269 的有关规定, 当桩基施工前, 利用工程桩进行静载荷试验时, 应符合本规程第 9.0.3 条的规定。

当挤土效应影响邻桩承载力或施工出现异常情况时, 在工程桩全部施工完后必须采用静载荷试验的方法检验工程桩单桩竖向抗压承载力, 检测数量不少于 3 根。

对挤土效应无经验的地区, 沉桩施工过程中应对桩顶标高的变化进行监测。检测对象宜选择群桩中的单桩, 检测数量不应少于总桩数的 5%, 且不应少于 10 根。

在深厚饱和软土中沉桩, 当布桩密集又无经验时, 尚宜在施工过程中监测桩顶的水平位移, 监测数量不应少于 6 根。

9.0.10 工程桩应进行桩身完整性的验收检测。采用低应变法检测时, 甲级设计等级的桩基, 抽检数量不应小于总桩数的 30%, 且不应少于 20 根。其他桩基抽检数量不应少于总桩数的 20%, 且不应少于 10 根。

每个承台下抽检的桩数不应少于 1 根, 且单桩、两桩承台下的桩应全数检测。

抗拔桩、以桩身强度控制设计的抗压桩、超过 25 层的高层建筑基桩及倾斜度大于 1%的桩应全数检测。

9.0.11 采用低应变法检测桩身完整性时, 应符合以下规定:

1 出现裂缝和缺陷的永久结构的抗拔桩或以承受水平力为主的桩应判为Ⅲ类或Ⅳ类桩。

2 桩身的混凝土受损及桩身出现斜裂缝或垂直裂缝的受压桩应判为Ⅲ类或Ⅳ类桩。

3 桩身出现轻微缺陷的受压桩宜先判为Ⅲ类桩, 最终判定桩的类别时, 应挖开浅部的缺陷进行检查核对, 结合低应变波形判别评价。挖开检查时, 当裂缝长度小于桩截面周长的 1/3 且为水平裂缝时, 可将相似波形的桩改判为Ⅱ类桩。

挖开检查的桩不应少于 3 根。挖开检查困难时, 应结合桩顶偏位、桩身倾斜率、孔内目测、岩土工程条件及施工情况等综合判定, 仍有疑问时, 应判为Ⅲ类桩。

4 应查明缺陷位置与桩身接头位置的关系, 审慎判定桩身接头附近的缺陷性质。确认接头焊缝质量存在轻微缺陷时, 对受压桩可判为Ⅱ类桩, 当接头附近桩身存在缺陷时, 应按本条第 1、2、3 款要求进行判别。

9.0.12 对低应变检测中存在缺陷的Ⅱ类、Ⅲ类桩均应进行处理, 并应进行桩身倾斜度及桩位偏差的检测。考虑地质情况、沉桩施工情况、基坑开挖情况等并结合本规程第 9.0.7 条的有关规定进行综合分析, 据以确定利用和处理方法。以桩身强度控制设计或受力较大的Ⅲ类桩经处理后应进行单桩静载荷试验, 试验数量不应少于 2 根。

9.0.13 对桩身浅部存在缺陷的管桩, 可根据场地岩土工程条件进行开挖检查处理, 截除缺陷以上的桩身, 再次进行低应变及桩身倾斜度检测, 检测结果符合要求后, 方可按本规程 4.0.21 条规定进行接桩处理。

9.0.14 当场地周边的建筑物及管线有可能受沉桩影响时, 应对建筑物、管线及周边地面进行沉降观测, 必要时宜进行水平位移及孔隙水压的监测。沉桩过程中应密切观察周边建筑物及管线的工作状态是否受到影响。

9.0.15 当沉桩施工中桩的破损率超过 3%或对桩身混凝土强度产生怀疑时, 可抽桩段进行抗弯试验或进行桩身混凝土钻芯(或切取试块)检测, 检测应符合下列规定:

1 抗弯试验每种桩型不应少于 2 根, 试验方法应符合本规程第 5.6.3 条的规定。

2 钻芯取样在一根未施打的桩段上进行, 桩段两端及中部各钻取 2 个芯样。试验应符合《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19196 的有关规定。

3 混凝土抗压强度评定时, 同一截面的 2 个芯样(试块)可取平均值, 3 组芯样(试块)平均值的最小值为该节桩混凝土强度的评定值。

4 钻芯、制样的设备应经校准合格, 检测单位应取得管桩钻芯的授权, 方可进行管桩钻芯检测。

5 管桩混凝土强度的评定应综合考虑抗弯试验及钻芯试验的结果。抗弯试验不合格的桩当钢筋配置符合要求时, 应视为混凝土强度不合格。钻芯芯样或切取试块的强度不低于设计强度的 85%时, 也可视为合格。

9.0.16 质量管理部门应不定期抽查各生产厂家桩身混凝土试块强度。

9.0.17 管桩基础工程验收时应具备下列资料:

1 桩基设计文件和施工图, 包括施工图纸会审纪录、设计变更通知书;

2 桩位测量放线图, 包括工程基线复核签证单;

3 岩土工程勘察报告;

4 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;

5 管桩出厂合格证、产品说明书;

6 打桩施工记录汇总, 包括桩位编号图;

7 本规程第 9.0.2 条及第 9.0.8 条规定的检测资料;

8 工程桩竣工图(桩位实测偏位情况, 补桩、试桩位置等);

9 成桩质量检查报告(桩顶标高、桩顶平面布置、垂直度偏差检测结果、桩内壁灯照目测检查资料、高低应变动测桩身完整性检测报告等);

10 单桩承载力检测报告;

11 质量事故处理记录;

12 桩基施工单位的质量自评报告和监理单位的质量评估报告。

附录 A
(规范性附录)

PHC、PC、PTC 桩参数及选用表

表 A-1 PHC 桩选用表

品种、规格 及型号	最大单 节桩长 (m)	横截 面积 A_G (mm ² ×10 ³)	预应力 钢筋 面积 A_p (mm ²)	预应力 钢筋	预应力 主筋所在 圆直径 D_p (mm)	换算 面积 A_0 (mm ² ×10 ³)	换算截面 抵抗矩 W_0 (mm ³ ×10 ⁶)	混凝土有 效预应力 σ_{pc} (MPa)	截桩后桩端 预应力传递 长度 l_{er} (mm)	抗裂弯矩检 验值 M_{cr} (kN·m)	极限弯矩 检验值 M_u (kN·m)	桩身结构对应 的最大单桩竖 向承载力特征 值(kN)	桩身结构对应 的最大单桩 竖向抗拔力 特征值(kN)	桩身抱压 压桩力 (参考值) (kN)	理论 重量 (kg/m)	允许两端 钩吊最大 桩长(m)
PHC-A300-70	11	50.6	240	6Φ7.1	230	51.6	2.481	3.93	139	25	37	854	178	1765	132	10
PHC-AB300-70	11	50.6	384	6Φ9.0	230	52.2	2.508	6.12	171	30	50	830	284	1734	132	11
PHC-B300-70	11	50.6	512	8Φ9.0	230	52.8	2.532	7.98	166	34	62	808	379	1708	132	11
PHC-C300-70	11	50.6	720	8Φ10.7	230	53.6	2.572	10.83	190	39	79	776	533	1667	132	11
PHC-A400-95	12	91.0	400	10Φ7.1	308	92.7	5.907	3.66	177	54	81	1543	296	3184	237	11
PHC-AB400-95	12	91.0	640	10Φ9.0	308	93.8	5.968	5.70	204	64	106	1501	474	3131	237	12
PHC-B400-95	12	91.0	900	10Φ10.7	308	94.9	6.033	7.81	198	74	132	1458	667	3077	237	12
PHC-C400-95	12	91.0	1170	13Φ10.7	308	96.0	6.102	9.89	193	88	176	1415	867	3023	237	12
PHC-A500-100	15	125.7	704	11Φ9.0	406	128.7	10.929	4.61	174	103	155	2103	521	4361	327	14
PHC-AB500-100	15	125.7	990	11Φ10.7	406	129.9	11.029	6.34	202	125	210	2054	733	4299	327	15
PHC-B500-100	15	125.7	1375	11Φ12.6	406	131.5	11.165	8.56	196	147	265	1991	1019	4219	327	15
PHC-C500-100	15	125.7	1625	13Φ12.6	406	132.6	11.252	9.94	227	167	334	1952	1204	4170	327	15
PHC-A500-125	15	147.3	768	12Φ9.0	406	150.5	11.775	4.30	175	111	167	2475	569	5123	383	13
PHC-AB500-125	15	147.3	1080	12Φ10.7	406	151.9	11.884	5.93	203	136	226	2421	800	5055	383	14
PHC-B500-125	15	147.3	1500	12Φ12.6	406	153.7	12.032	8.02	198	160	285	2351	1111	4967	383	15
PHC-C500-125	15	147.3	1875	15Φ12.6	406	155.3	12.164	9.81	227	180	360	2291	1389	4892	383	15
PHC-A600-110	15	169.3	896	14Φ9.0	506	173.2	18.201	4.36	175	167	250	2843	664	5888	440	15
PHC-AB600-110	15	169.3	1260	14Φ10.7	506	174.7	18.367	6.01	203	206	346	2780	933	5809	440	15
PHC-B600-110	15	169.3	1750	14Φ12.6	506	176.8	18.590	8.13	197	245	441	2699	1296	5706	440	15
PHC-C600-110	15	169.3	2125	17Φ12.6	506	178.4	18.760	9.68	227	285	569	2640	1574	5631	440	15
PHC-A600-130	15	192.0	1024	16Φ9.0	506	196.3	19.485	4.40	175	180	270	3222	759	6672	499	15
PHC-AB600-130	15	192.0	1440	16Φ10.7	506	198.1	19.674	6.06	203	223	374	3150	1067	6582	499	15
PHC-B600-130	15	192.0	2000	16Φ12.6	506	200.5	19.929	8.19	197	265	477	3057	1481	6465	499	15
PHC-C600-130	15	192.0	2375	19Φ12.6	506	202.1	20.099	9.56	228	307	615	2998	1759	6390	499	15

注：1、混凝土强度等级为 C80；预应力钢筋抗拉强度设计值 $f_p=1000\text{N/mm}^2$ 。管桩直径 $D<500\text{mm}$ 时，螺旋箍筋采用 Φ^4 ； $D\geq 500\text{mm}$ 时，螺旋箍筋采用 Φ^5 。

2、表中最大单桩竖向抗拔力特征值尚应按本规程表 7.5.5-2 除以上拔力增大系数。

3、桩身抱压桩力可适当提高，但不宜超过表内数据的 1.1 倍。

表 A-2 PC、PTC 桩选用表

品种、规格及型号	最大单节桩长(m)	横截面积 A_G (mm ² ×10 ³)	预应力钢筋 面积 A_p (mm ²)	预应力钢筋	预应力主筋所在 圆直径 Dp(mm)	换算 面积 A_0 (mm ² ×10 ³)	换算截面 抵抗矩 W_0 (mm ³ ×10 ⁶)	混凝土有 效预应力 σ_{pc} (MPa)	截桩后桩端 预应力传递 长度 l_{er} (mm)	抗裂弯矩检 验值 M_{cr} (kN·m)	极限弯矩检 验值 M_u (kN·m)	桩身结构对应 的最大单桩 竖向承载力 特征值(kN)	桩身结构对应 的最大单桩 竖向抗拔力 特征值(kN)	桩身抱压 压桩力 (参考值) (kN)	理论 重量 (kg/m)	允许两端 钩吊最大 桩长(m)
PC-A300-70	11	50.6	240	6Φ7.1	230	51.7	2.484	3.93	143	25	37	630	178	1447	132	10
PC-AB300-70	11	50.6	384	6Φ9.0	230	52.3	2.513	6.11	176	30	50	605	284	1408	132	11
PC-B300-70	11	50.6	512	8Φ9.0	230	52.9	2.539	7.96	172	34	62	584	379	1374	132	11
PC-C300-70	11	50.6	720	8Φ10.7	230	53.9	2.581	10.79	196	39	79	552	533	1322	132	11
PC-A400-95	12	91.0	400	10Φ7.1	308	92.9	5.914	3.65	183	54	81	1139	296	2614	237	11
PC-AB400-95	12	91.0	640	10Φ9.0	308	93.9	5.979	5.69	211	64	106	1097	474	2547	237	12
PC-B400-95	12	91.0	900	10Φ10.7	308	95.1	6.049	7.79	205	74	132	1054	667	2478	237	12
PC-C400-95	12	91.0	1170	13Φ10.7	308	96.4	6.122	9.86	199	88	176	1012	867	2409	237	12
PC-A500-100	15	125.7	704	11Φ9.0	406	128.9	10.946	4.60	180	103	155	1545	521	3565	327	14
PC-AB500-100	15	125.7	990	11Φ10.7	406	130.2	11.053	6.32	209	125	210	1496	733	3486	327	14
PC-B500-100	15	125.7	1375	11Φ12.6	406	131.9	11.198	8.54	203	147	265	1433	1019	3385	327	15
PC-C500-100	15	125.7	1625	13Φ12.6	406	133.1	11.292	9.91	234	167	334	1394	1204	3321	327	15
PC-A500-125	15	147.3	768	12Φ9.0	406	150.8	11.793	4.30	181	111	167	1820	569	4193	383	13
PC-AB500-125	15	147.3	1080	12Φ10.7	406	152.2	11.910	5.92	211	136	226	1766	800	4107	383	14
PC-B500-125	15	147.3	1500	12Φ12.6	406	154.1	12.068	8.00	204	160	285	1697	1111	3996	383	15
PC-C500-125	15	147.3	1875	15Φ12.6	406	155.8	12.209	9.78	235	180	360	1638	1389	3899	383	15
PC-A600-110	15	169.3	896	14Φ9.0	506	173.4	18.229	4.36	181	167	250	2091	664	4818	440	15
PC-AB600-110	15	169.3	1260	14Φ10.7	506	175.1	18.406	6.00	210	206	346	2028	933	4718	440	15
PC-B600-110	15	169.3	1750	14Φ12.6	506	177.3	18.644	8.11	204	245	441	1947	1296	4588	440	15
PC-C600-110	15	169.3	2125	17Φ12.6	506	179.0	18.827	9.65	235	285	569	1888	1574	4492	440	15
PC-A600-130	15	192.0	1024	16Φ9.0	506	196.6	19.517	4.39	181	180	270	2369	759	5459	499	15
PC-AB600-130	15	192.0	1440	16Φ10.7	506	198.5	19.719	6.04	210	223	374	2297	1067	5345	499	15
PC-B600-130	15	192.0	2000	16Φ12.6	506	201.1	19.991	8.17	204	265	477	2205	1481	5196	499	15
PC-C600-130	15	192.0	2375	19Φ12.6	506	202.8	20.173	9.53	235	307	615	2146	1759	5100	499	15
PTC-300-60	9	45.2	240	6Φ7.1	240	46.3	2.360	4.37	143	19	26	559	178		118	9
PTC-400-70	11	72.6	320	8Φ7.1	340	74.0	5.267	3.66	144	39	55	908	237		189	11
PTC-500-80	12	105.6	440	11Φ7.1	440	107.6	9.842	3.47	145	71	99	1325	326		274	12
PTC-600-80	13	130.7	640	10Φ9.0	520	133.6	15.401	4.05	182	119	167	1623	474		340	13

注：1、混凝土强度等级为 C80；预应力钢筋抗拉强度设计值 $f_{py}=1000\text{N/mm}^2$ 。管桩直径 $D<500\text{mm}$ 时，螺旋箍筋采用 Φ^4 ； $D\geq 500\text{mm}$ 时，螺旋箍筋采用 Φ^5 。

2、表中最大单桩竖向抗拔力特征值尚应按本规程表 7.5.5-2 除以上拔力增大系数。

3、桩身抱压桩力可适当提高，但不宜超过表内数据的 1.1 倍。

按桩顶水平位移控制单桩水平承载力特征值计算表

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 R_{ha} (kN)	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-A300-70)					(PHC-AB300-70)				
1	0.589	铰接、 自由	4.0	7.562	1	0.588	铰接、 自由	4.0	7.595
			3.0	6.769				3.0	6.798
			2.4	5.235				2.4	5.258
		固接	4.0	19.637			固接	4.0	19.722
			3.0	17.956				3.0	18.034
			2.4	16.857				2.4	16.931
2	0.677	铰接、 自由	4.0	11.462	2	0.676	铰接、 自由	4.0	11.512
			3.0	10.260				3.0	10.304
			2.4	7.935				2.4	7.969
		固接	4.0	29.764			固接	4.0	29.893
			3.0	27.216				3.0	27.334
			2.4	25.551				2.4	25.662
4	0.778	铰接、 自由	4.0	17.373	4	0.776	铰接、 自由	4.0	17.448
			3.0	15.551				3.0	15.618
			2.4	12.027				2.4	12.079
		固接	4.0	45.114			固接	4.0	45.310
			3.0	41.252				3.0	41.431
			2.4	38.728				2.4	38.896
6	0.843	铰接、 自由	4.0	22.158	6	0.842	铰接、 自由	4.0	22.254
			3.0	19.834				3.0	19.920
			2.4	15.339				2.4	15.406
		固接	4.0	57.539			固接	4.0	57.790
			3.0	52.614				3.0	52.843
			2.4	49.394				2.4	49.609
10	0.934	铰接、 自由	4.0	30.105	10	0.932	铰接、 自由	4.0	30.236
			3.0	26.947				3.0	27.065
			2.4	20.841				2.4	20.932
		固接	4.0	78.176			固接	4.0	78.516
			3.0	71.484				3.0	71.795
			2.4	67.110				2.4	67.402
15	1.013	铰接、 自由	4.0	38.396	15	1.011	铰接、 自由	4.0	38.563
			3.0	34.369				3.0	34.519
			2.4	26.581				2.4	26.697
		固接	4.0	99.707			固接	4.0	100.141
			3.0	91.172				3.0	91.569
			2.4	85.594				2.4	85.966
20	1.073	铰接、 自由	4.0	45.630	20	1.071	铰接、 自由	4.0	45.829
			3.0	40.844				3.0	41.022
			2.4	31.589				2.4	31.726
		固接	4.0	118.492			固接	4.0	119.008
			3.0	108.349				3.0	108.821
			2.4	101.719				2.4	102.162
注：本表及续表桩身强度及裂缝控制应另行验算。									

注: 本表及续表桩身强度及裂缝控制应另行验算。

附表 B 续 1 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-B300-70)					(PHC-C300-70)				
1	0.587	铰接、 自由	4.0	7.624	1	0.585	铰接、 自由	4.0	7.671
			3.0	6.824				3.0	6.867
			2.4	5.278				2.4	5.311
		固接	4.0	19.797			固接	4.0	19.920
			3.0	18.103				3.0	18.215
			2.4	16.995				2.4	17.101
2	0.674	铰接、 自由	4.0	11.555	2	0.672	铰接、 自由	4.0	11.627
			3.0	10.343				3.0	10.408
			2.4	8.000				2.4	8.049
		固接	4.0	30.007			固接	4.0	30.194
			3.0	27.438				3.0	27.609
			2.4	25.760				2.4	25.920
4	0.775	铰接、 自由	4.0	17.515	4	0.772	铰接、 自由	4.0	17.624
			3.0	15.678				3.0	15.775
			2.4	12.125				2.4	12.201
		固接	4.0	45.482			固接	4.0	45.765
			3.0	41.589				3.0	41.847
			2.4	39.044				2.4	39.287
6	0.840	铰接、 自由	4.0	22.339	6	0.837	铰接、 自由	4.0	22.477
			3.0	19.996				3.0	20.120
			2.4	15.465				2.4	15.561
		固接	4.0	58.009			固接	4.0	58.370
			3.0	53.043				3.0	53.373
			2.4	49.798				2.4	50.107
10	0.930	铰接、 自由	4.0	30.351	10	0.927	铰接、 自由	4.0	30.539
			3.0	27.167				3.0	27.336
			2.4	21.011				2.4	21.142
		固接	4.0	78.814			固接	4.0	79.304
			3.0	72.068				3.0	72.516
			2.4	67.658				2.4	68.079
15	1.009	铰接、 自由	4.0	38.710	15	1.006	铰接、 自由	4.0	38.950
			3.0	34.650				3.0	34.865
			2.4	26.798				2.4	26.965
		固接	4.0	100.522			固接	4.0	101.147
			3.0	91.917				3.0	92.488
			2.4	86.293				2.4	86.829
20	1.069	铰接、 自由	4.0	46.003	20	1.065	铰接、 自由	4.0	46.289
			3.0	41.178				3.0	41.434
			2.4	31.847				2.4	32.045
		固接	4.0	119.460			固接	4.0	120.203
			3.0	109.234				3.0	109.913
			2.4	102.550				2.4	103.188

附表 B 续 2 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-A400-95)					(PHC-AB400-95)				
1	0.482	铰接、 自由	4.0	13.106	1	0.481	铰接、 自由	4.0	13.160
			3.0	11.732				3.0	11.780
			2.4	9.073				2.4	9.111
		固接	4.0	34.035			固接	4.0	34.174
			3.0	31.121				3.0	31.249
			2.4	29.217				2.4	29.337
2	0.553	铰接、 自由	4.0	19.866	2	0.552	铰接、 自由	4.0	19.947
			3.0	17.782				3.0	17.855
			2.4	13.753				2.4	13.809
		固接	4.0	51.587			固接	4.0	51.799
			3.0	47.171				3.0	47.364
			2.4	44.285				2.4	44.466
4	0.635	铰接、 自由	4.0	30.111	4	0.634	铰接、 自由	4.0	30.234
			3.0	26.953				3.0	27.063
			2.8	25.301				2.4	20.931
		固接	4.0	78.191			固接	4.0	78.512
			3.0	71.498				3.0	71.791
			2.4	67.123				2.4	67.398
6	0.689	铰接、 自由	4.0	38.404	6	0.688	铰接、 自由	4.0	38.561
			3.0	34.376				3.0	34.517
			2.8	32.270				2.4	26.695
		固接	4.0	99.727			固接	4.0	100.136
			3.0	91.190				3.0	91.564
			2.4	85.611				2.4	85.962
10	0.763	铰接、 自由	4.0	52.177	10	0.762	铰接、 自由	4.0	52.391
			3.0	46.705				3.0	46.897
			2.4	36.122				2.4	36.270
		固接	4.0	135.495			固接	4.0	136.050
			3.0	123.896				3.0	124.404
			2.4	116.315				2.4	116.792
15	0.828	铰接、 自由	4.0	66.548	15	0.826	铰接、 自由	4.0	66.821
			3.0	59.569				3.0	59.813
			2.4	46.071				2.4	46.259
		固接	4.0	172.813			固接	4.0	173.522
			3.0	158.020				3.0	158.668
			2.4	148.351				2.4	148.960
20	0.877	铰接、 自由	4.0	79.086	20	0.875	铰接、 自由	4.0	79.411
			3.0	70.792				3.0	71.082
			2.4	54.750				2.4	54.975
		固接	4.0	205.372			固接	4.0	206.214
			3.0	187.791				3.0	188.561
			2.4	176.301				2.4	177.024

附表 B 续 3 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-B400-95)					(PHC-C400-95)				
1	0.480	铰接、 自由	4.0	13.219	1	0.479	铰接、 自由	4.0	13.278
			3.0	11.832				3.0	11.886
			2.4	9.151				2.4	9.192
		固接	4.0	34.326			固接	4.0	34.481
			3.0	31.388				3.0	31.529
			2.4	29.467				2.4	29.600
2	0.551	铰接、 自由	4.0	20.036	2	0.550	铰接、 自由	4.0	20.126
			3.0	17.934				3.0	18.015
			2.4	13.870				2.4	13.933
		固接	4.0	52.029			固接	4.0	52.263
			3.0	47.575				3.0	47.789
			2.4	44.664				2.4	44.865
4	0.633	铰接、 自由	4.0	30.368	4	0.632	铰接、 自由	4.0	30.505
			3.0	27.183				3.0	27.306
			2.4	21.024				2.4	21.118
		固接	4.0	78.861			固接	4.0	79.216
			3.0	72.110				3.0	72.435
			2.4	67.698				2.4	68.003
6	0.686	铰接、 自由	4.0	38.733	6	0.685	铰接、 自由	4.0	38.907
			3.0	34.670				3.0	34.827
			2.4	26.814				2.4	26.935
		固接	4.0	100.581			固接	4.0	101.034
			3.0	91.971				3.0	92.385
			2.4	86.343				2.4	86.732
10	0.760	铰接、 自由	4.0	52.624	10	0.759	铰接、 自由	4.0	52.861
			3.0	47.105				3.0	47.317
			2.4	36.431				2.4	36.595
		固接	4.0	136.655			固接	4.0	137.271
			3.0	124.957				3.0	125.520
			2.4	117.311				2.4	117.840
15	0.824	铰接、 自由	4.0	67.118	15	0.823	铰接、 自由	4.0	67.421
			3.0	60.079				3.0	60.350
			2.4	46.465				2.4	46.674
		固接	4.0	174.293			固接	4.0	175.078
			3.0	159.373				3.0	160.091
			2.4	149.621				2.4	150.295
20	0.873	铰接、 自由	4.0	79.763	20	0.871	铰接、 自由	4.0	80.123
			3.0	71.398				3.0	71.720
			2.4	55.219				2.4	55.468
		固接	4.0	207.130			固接	4.0	208.063
			3.0	189.399				3.0	190.252
			2.4	177.810				2.4	178.611

附表 B 续 4 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-A500-100)					(PHC-AB500-100)				
1	0.418	铰接、 自由	4.0	19.790	1	0.417	铰接、 自由	4.0	19.863
			3.0	17.715				3.0	17.780
			2.4	13.700				2.4	13.751
		固接	4.0	51.391			固接	4.0	51.582
			3.0	46.992				3.0	47.166
			2.4	44.116				2.4	44.280
2	0.480	铰接、 自由	4.0	29.996	2	0.479	铰接、 自由	4.0	30.107
			3.0	26.850				3.0	26.950
			2.4	20.766				2.4	20.843
		固接	4.0	77.894			固接	4.0	78.183
			3.0	71.226				3.0	71.491
			2.4	66.868				2.4	67.116
4	0.551	铰接、 自由	4.0	45.466	4	0.550	铰接、 自由	4.0	45.634
			3.0	40.697				3.0	40.848
			2.4	31.475				2.4	31.592
		固接	4.0	118.065			固接	4.0	118.504
			3.0	107.959				3.0	108.359
			2.4	101.353				2.4	101.729
6	0.598	铰接、 自由	4.0	57.988	6	0.597	铰接、 自由	4.0	58.203
			3.0	51.906				3.0	52.099
			2.4	40.144				2.4	40.293
		固接	4.0	150.584			固接	4.0	151.142
			3.0	137.693				3.0	138.204
			2.4	129.268				2.4	129.748
10	0.662	铰接、 自由	4.0	78.786	10	0.661	铰接、 自由	4.0	79.078
			3.0	70.523				3.0	70.785
			2.4	54.542				2.4	54.745
		固接	4.0	204.591			固接	4.0	205.350
			3.0	187.078				3.0	187.772
			2.4	175.631				2.4	176.283
15	0.718	铰接、 自由	4.0	100.485	15	0.717	铰接、 自由	4.0	100.858
			3.0	89.947				3.0	90.280
			2.4	69.564				2.4	69.823
		固接	4.0	260.941			固接	4.0	261.909
			3.0	238.603				3.0	239.489
			2.4	224.004				2.4	224.835
20	0.761	铰接、 自由	4.0	119.417	20	0.759	铰接、 自由	4.0	119.860
			3.0	106.893				3.0	107.289
			2.4	82.670				2.4	82.977
		固接	4.0	310.102			固接	4.0	311.253
			3.0	283.557				3.0	284.609
			2.4	266.207				2.4	267.194

附且 B 续 5 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-B500-100)					(PHC-C500-100)				
1	0.416	铰接、 自由	4.0	19.960	1	0.415	铰接、 自由	4.0	20.022
			3.0	17.867				3.0	17.923
			2.4	13.818				2.4	13.861
		固接	4.0	51.832			固接	4.0	51.995
			3.0	47.395				3.0	47.544
			2.4	44.495				2.4	44.635
2	0.478	铰接、 自由	4.0	30.254	2	0.477	铰接、 自由	4.0	30.348
			3.0	27.081				3.0	27.166
			2.4	20.944				2.4	21.010
		固接	4.0	78.563			固接	4.0	78.809
			3.0	71.838				3.0	72.063
			2.4	67.442				2.4	67.653
4	0.549	铰接、 自由	4.0	45.856	4	0.548	铰接、 自由	4.0	46.000
			3.0	41.047				3.0	41.175
			2.4	31.745				2.4	31.845
		固接	4.0	119.079			固接	4.0	119.452
			3.0	108.886				3.0	109.227
			2.4	102.223				2.4	102.543
6	0.595	铰接、 自由	4.0	58.486	6	0.595	铰接、 自由	4.0	58.669
			3.0	52.352				3.0	52.516
			2.4	40.489				2.4	40.616
		固接	4.0	151.876			固接	4.0	152.352
			3.0	138.875				3.0	139.310
			2.4	130.378				2.4	130.786
10	0.660	铰接、 自由	4.0	79.462	10	0.659	铰接、 自由	4.0	79.711
			3.0	71.128				3.0	71.351
			2.4	55.010				2.4	55.183
		固接	4.0	206.348			固接	4.0	206.994
			3.0	188.684				3.0	189.275
			2.4	177.139				2.4	177.693
15	0.715	铰接、 自由	4.0	101.348	15	0.714	铰接、 自由	4.0	101.665
			3.0	90.719				3.0	91.003
			2.4	70.162				2.4	70.381
		固接	4.0	263.181			固接	4.0	264.005
			3.0	240.652				3.0	241.406
			2.4	225.927				2.4	226.635
20	0.758	铰接、 自由	4.0	120.442	20	0.756	铰接、 自由	4.0	120.819
			3.0	107.810				3.0	108.148
			2.4	83.380				2.4	83.641
		固接	4.0	312.765			固接	4.0	313.744
			3.0	285.991				3.0	286.887
			2.4	268.492				2.4	269.333

附表 B 续 6 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-A500-125)					(PHC-AB500-125)				
1	0.412	铰接、 自由	4.0	20.389	1	0.411	铰接、 自由	4.0	20.466
			3.0	18.251				3.0	18.319
			2.4	14.115				2.4	14.168
		固接	4.0	52.947			固接	4.0	53.146
			3.0	48.414				3.0	48.596
			2.4	45.452				2.4	45.623
2	0.473	铰接、 自由	4.0	30.904	2	0.472	铰接、 自由	4.0	31.020
			3.0	27.663				3.0	27.767
			2.4	21.394				2.4	21.475
		固接	4.0	80.252			固接	4.0	80.554
			3.0	73.382				3.0	73.658
			2.4	68.892				2.4	69.151
4	0.543	铰接、 自由	4.0	46.842	4	0.542	铰接、 自由	4.0	47.018
			3.0	41.929				3.0	42.087
			2.4	32.428				2.4	32.550
		固接	4.0	121.639			固接	4.0	122.096
			3.0	111.227				3.0	111.645
			2.4	104.421				2.4	104.813
6	0.589	铰接、 自由	4.0	59.743	6	0.588	铰接、 自由	4.0	59.968
			3.0	53.478				3.0	53.678
			2.4	41.359				2.4	41.515
		固接	4.0	155.142			固接	4.0	155.725
			3.0	141.861				3.0	142.394
			2.4	133.181				2.4	133.682
10	0.653	铰接、 自由	4.0	81.170	10	0.651	铰接、 自由	4.0	81.475
			3.0	72.658				3.0	72.931
			2.4	56.193				2.4	56.404
		固接	4.0	210.784			固接	4.0	211.576
			3.0	192.740				3.0	193.465
			2.4	180.947				2.4	181.627
15	0.708	铰接、 自由	4.0	103.527	15	0.706	铰接、 自由	4.0	103.916
			3.0	92.669				3.0	93.017
			2.4	71.670				2.4	71.939
		固接	4.0	268.839			固接	4.0	269.849
			3.0	245.826				3.0	246.750
			2.4	230.784				2.4	231.652
20	0.750	铰接、 自由	4.0	123.031	20	0.748	铰接、 自由	4.0	123.494
			3.0	110.128				3.0	110.542
			2.4	85.173				2.4	85.493
		固接	4.0	319.489			固接	4.0	320.690
			3.0	292.140				3.0	293.238
			2.4	274.265				2.4	275.295

附表 B 续 7 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-B500-125)					(PHC-C500-125)				
1	0.410	铰接、 自由	4.0	20.566	1	0.409	铰接、 自由	4.0	20.656
			3.0	18.409				3.0	18.490
			2.4	14.238				2.4	14.300
		固接	4.0	53.407			固接	4.0	53.639
			3.0	48.835				3.0	49.048
			2.4	45.847				2.4	46.047
2	0.471	铰接、 自由	4.0	31.173	2	0.470	铰接、 自由	4.0	31.309
			3.0	27.903				3.0	28.025
			2.4	21.580				2.4	21.674
		固接	4.0	80.950			固接	4.0	81.302
			3.0	74.020				3.0	74.342
			2.4	69.491				2.4	69.794
4	0.541	铰接、 自由	4.0	47.249	4	0.540	铰接、 自由	4.0	47.455
			3.0	42.294				3.0	42.478
			2.4	32.710				2.4	32.852
		固接	4.0	122.697			固接	4.0	123.231
			3.0	112.193				3.0	112.682
			2.4	105.329				2.4	105.787
6	0.587	铰接、 自由	4.0	60.263	6	0.585	铰接、 自由	4.0	60.525
			3.0	53.942				3.0	54.177
			2.4	41.719				2.4	41.901
		固接	4.0	156.490			固接	4.0	157.172
			3.0	143.094				3.0	143.718
			2.4	134.339				2.4	134.924
10	0.650	铰接、 自由	4.0	81.876	10	0.648	铰接、 自由	4.0	82.233
			3.0	73.289				3.0	73.608
			2.4	56.682				2.4	56.929
		固接	4.0	212.616			固接	4.0	213.542
			3.0	194.416				3.0	195.263
			2.4	182.520				2.4	183.315
15	0.705	铰接、 自由	4.0	104.427	15	0.703	铰接、 自由	4.0	104.882
			3.0	93.475				3.0	93.882
			2.4	72.293				2.4	72.608
		固接	4.0	271.176			固接	4.0	272.357
			3.0	247.963				3.0	249.043
			2.4	232.790				2.4	233.804
20	0.746	铰接、 自由	4.0	124.101	20	0.745	铰接、 自由	4.0	124.641
			3.0	111.086				3.0	111.569
			2.4	85.913				2.4	86.287
		固接	4.0	322.266			固接	4.0	323.670
			3.0	294.679				3.0	295.963
			2.4	276.649				2.4	277.854

附表 B 续 8 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-A600-110)					(PHC-AB600-110)				
1	0.372	铰接、 自由	4.0	27.942	1	0.372	铰接、 自由	4.0	28.045
			3.0	25.012				3.0	25.104
			2.4	19.344				2.4	19.415
		固接	4.0	72.561			固接	4.0	72.828
			3.0	66.350				3.0	66.593
			2.4	62.290				2.4	62.519
2	0.428	铰接、 自由	4.0	42.353	2	0.427	铰接、 自由	4.0	42.508
			3.0	37.911				3.0	38.050
			2.4	29.320				2.4	29.428
		固接	4.0	109.982			固接	4.0	110.386
			3.0	100.567				3.0	100.937
			2.4	94.414				2.4	94.761
4	0.491	铰接、 自由	4.0	64.195	4	0.490	铰接、 自由	4.0	64.431
			3.0	57.462				3.0	57.673
			2.4	44.441				2.4	44.604
		固接	4.0	166.702			固接	4.0	167.314
			3.0	152.432				3.0	152.991
			2.4	143.105				2.4	143.630
6	0.533	铰接、 自由	4.0	81.876	6	0.532	铰接、 自由	4.0	82.176
			3.0	73.289				3.0	73.558
			2.4	56.681				2.4	56.889
		固接	4.0	212.616			固接	4.0	213.396
			3.0	194.415				3.0	195.129
			2.4	182.519				2.4	183.189
10	0.590	铰接、 自由	4.0	111.241	10	0.589	铰接、 自由	4.0	111.649
			3.0	99.574				3.0	99.940
			2.4	77.011				2.4	77.293
		固接	4.0	288.871			固接	4.0	289.932
			3.0	264.143				3.0	265.113
			2.4	247.981				2.4	248.891
15	0.640	铰接、 自由	4.0	141.879	15	0.639	铰接、 自由	4.0	142.400
			3.0	126.999				3.0	127.466
			2.4	98.221				2.4	98.582
		固接	4.0	368.434			固接	4.0	369.786
			3.0	336.895				3.0	338.131
			2.4	316.281				2.4	317.442
20	0.678	铰接、 自由	4.0	168.610	20	0.676	铰接、 自由	4.0	169.229
			3.0	150.926				3.0	151.480
			2.4	116.726				2.4	117.155
		固接	4.0	437.847			固接	4.0	439.454
			3.0	400.366				3.0	401.836
			2.4	375.869				2.4	377.248

附表 B 续 9 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-B600-110)					(PHC-C600-110)				
1	0.371	铰接、 自由	4.0	28.180	1	0.370	铰接、 自由	4.0	28.283
			3.0	25.224				3.0	25.316
			2.4	19.508				2.4	19.580
		固接	4.0	73.177			固接	4.0	73.445
			3.0	66.913				3.0	67.158
			2.4	62.819				2.4	63.048
2	0.426	铰接、 自由	4.0	42.713	2	0.425	铰接、 自由	4.0	42.868
			3.0	38.233				3.0	38.373
			2.4	29.569				2.4	29.677
		固接	4.0	110.916			固接	4.0	111.321
			3.0	101.421				3.0	101.792
			2.4	95.216				2.4	95.563
4	0.489	铰接、 自由	4.0	64.740	4	0.488	铰接、 自由	4.0	64.976
			3.0	57.950				3.0	58.162
			2.4	44.819				2.4	44.982
		固接	4.0	168.118			固接	4.0	168.731
			3.0	153.726				3.0	154.287
			2.4	144.320				2.4	144.847
6	0.530	铰接、 自由	4.0	82.571	6	0.529	铰接、 自由	4.0	82.873
			3.0	73.911				3.0	74.181
			2.4	57.163				2.4	57.372
		固接	4.0	214.421			固接	4.0	215.204
			3.0	196.066				3.0	196.782
			2.4	184.069				2.4	184.741
10	0.587	铰接、 自由	4.0	112.186	10	0.586	铰接、 自由	4.0	112.595
			3.0	100.420				3.0	100.787
			2.4	77.665				2.4	77.948
		固接	4.0	291.325			固接	4.0	292.388
			3.0	266.386				3.0	267.359
			2.4	250.087				2.4	251.000
15	0.637	铰接、 自由	4.0	143.084	15	0.636	铰接、 自由	4.0	143.607
			3.0	128.078				3.0	128.546
			2.4	99.055				2.4	99.417
		固接	4.0	371.563			固接	4.0	372.919
			3.0	339.756				3.0	340.996
			2.4	318.967				2.4	320.132
20	0.675	铰接、 自由	4.0	170.042	20	0.674	铰接、 自由	4.0	170.662
			3.0	152.208				3.0	152.764
			2.4	117.717				2.4	118.147
		固接	4.0	441.566			固接	4.0	443.178
			3.0	403.766				3.0	405.240
			2.4	379.061				2.4	380.445

附表 B 续 10 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-A600-130)					(PHC-AB600-130)				
1	0.367	铰接、 自由	4.0	28.714	1	0.366	铰接、 自由	4.0	28.827
			3.0	25.703				3.0	25.804
			2.4	19.879				2.4	19.956
		固接	4.0	74.566			固接	4.0	74.858
			3.0	68.183				3.0	68.450
			2.4	64.011				2.4	64.262
2	0.422	铰接、 自由	4.0	43.523	2	0.421	铰接、 自由	4.0	43.693
			3.0	38.958				3.0	39.111
			2.4	30.130				2.4	30.248
		固接	4.0	113.021			固接	4.0	113.463
			3.0	103.346				3.0	103.751
			2.4	97.022				2.4	97.402
4	0.485	铰接、 自由	4.0	65.968	4	0.484	铰接、 自由	4.0	66.227
			3.0	59.050				3.0	59.281
			2.4	45.669				2.4	45.848
		固接	4.0	171.307			固接	4.0	171.978
			3.0	156.643				3.0	157.257
			2.4	147.058				2.4	147.634
6	0.525	铰接、 自由	4.0	84.138	6	0.524	铰接、 自由	4.0	84.467
			3.0	75.314				3.0	75.609
			2.4	58.247				2.4	58.476
		固接	4.0	218.489			固接	4.0	219.345
			3.0	199.786				3.0	200.569
			2.4	187.562				2.4	188.297
10	0.582	铰接、 自由	4.0	114.314	10	0.581	铰接、 自由	4.0	114.762
			3.0	102.325				3.0	102.726
			2.4	79.138				2.4	79.448
		固接	4.0	296.852			固接	4.0	298.015
			3.0	271.440				3.0	272.504
			2.4	254.832				2.4	255.830
15	0.631	铰接、 自由	4.0	145.799	15	0.630	铰接、 自由	4.0	146.370
			3.0	130.508				3.0	131.019
			2.4	100.935				2.4	101.330
		固接	4.0	378.612			固接	4.0	380.096
			3.0	346.202				3.0	347.558
			2.4	325.019				2.4	326.292
20	0.668	铰接、 自由	4.0	173.268	20	0.667	铰接、 自由	4.0	173.947
			3.0	155.096				3.0	155.704
			2.4	119.951				2.4	120.421
		固接	4.0	449.943			固接	4.0	451.706
			3.0	411.427				3.0	413.039
			2.4	386.253				2.4	387.766

附表 B 续 11 单桩水平承载力特征值计算表(桩顶位移 10mm 控制)

桩侧土水平 抗力系数的 比例系数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约束 情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$	桩侧土 水平 抗力系 数的 比例系 数 $m(\text{MN}/\text{m}^4)$	桩的水平 变形系数 $\alpha(1/\text{m})$	桩顶约 束情况	桩的换算 埋深 (αh)	单桩水平 承载力特 征值 $R_{ha}(\text{kN})$
(PHC-B600-130)					(PHC-C600-130)				
1	0.366	铰接、 自由	4.0	28.975	1	0.365	铰接、 自由	4.0	29.073
			3.0	25.936				3.0	26.024
			2.4	20.059				2.4	20.127
		固接	4.0	75.242			固接	4.0	75.498
			3.0	68.801				3.0	69.035
			2.4	64.591				2.4	64.811
2	0.420	铰接、 自由	4.0	43.917	2	0.419	铰接、 自由	4.0	44.067
			3.0	39.311				3.0	39.445
			2.4	30.403				2.4	30.507
		固接	4.0	114.045			固接	4.0	114.433
			3.0	104.282				3.0	104.638
			2.4	97.902				2.4	98.235
4	0.482	铰接、 自由	4.0	66.566	4	0.482	铰接、 自由	4.0	66.793
			3.0	59.585				3.0	59.788
			2.4	46.083				2.4	46.240
		固接	4.0	172.860			固接	4.0	173.449
			3.0	158.062				3.0	158.601
			2.4	148.391				2.4	148.896
6	0.523	铰接、 自由	4.0	84.900	6	0.522	铰接、 自由	4.0	85.189
			3.0	75.996				3.0	76.255
			2.4	58.775				2.4	58.975
		固接	4.0	220.470			固接	4.0	221.221
			3.0	201.597				3.0	202.283
			2.4	189.262				2.4	189.906
10	0.579	铰接、 自由	4.0	115.350	10	0.578	铰接、 自由	4.0	115.743
			3.0	103.252				3.0	103.604
			2.4	79.855				2.4	80.127
		固接	4.0	299.542			固接	4.0	300.562
			3.0	273.900				3.0	274.833
			2.4	257.141				2.4	258.017
15	0.628	铰接、 自由	4.0	147.120	15	0.627	铰接、 自由	4.0	147.621
			3.0	131.691				3.0	132.139
			2.4	101.849				2.4	102.196
		固接	4.0	382.043			固接	4.0	383.345
			3.0	349.339				3.0	350.529
			2.4	327.964				2.4	329.081
20	0.665	铰接、 自由	4.0	174.838	20	0.664	铰接、 自由	4.0	175.434
			3.0	156.502				3.0	157.035
			2.4	121.038				2.4	121.450
		固接	4.0	454.021			固接	4.0	455.567
			3.0	415.155				3.0	416.569
			2.4	389.753				2.4	391.081

附录 C

(资料性附录)

锤击沉桩锤重选择表

表 C 锤击沉桩锤重选择表

锤型		柴油锤					
		D25	D35	D45	D60	D72	D80
锤的动力性能	冲击部分质量(t)	2.5	3.5	4.5	6.0	7.2	8.0
	总质量(t)	6.5	7.2	9.6	15.0	18.0	17.0
	冲击力(kN)	2000~2500	2500~4000	4000~5000	5000~7000	7000~10000	>10000
	常用冲程(m)	1.8~2.3					
	预应力管桩的直径(mm)	300~400	300~400	400~500	400~500	500~600	500~600
锤的常用控制贯入度 (cm/10 击)		2~3		3~5	4~8		5~10
设计单桩极限承载力(kN)		1000~1600	1400~2600	2500~4000	3200~5000	4600~6000	>6000
注：①本表仅供选锤用，选择时宜重锤轻击。 ②本表适用于桩长 20~60m，且桩端进入硬土层有一定深度。							

附录 D
(资料性附录)
静压沉桩施工记录表

表 D 静压沉桩施工记录表

工程名称：_____ 建设单位：_____ 施工单位：_____ 监理单位：_____

管桩型号：_____ 桩尖型式：_____ 桩机型号：_____ 管桩生产厂：_____

日期	起止时间	序号	桩号	第一节桩		第二节桩		第三节桩		第四节桩		送 桩			入土深度(m)	桩顶设计标高(m)	桩顶实际标高(m)	备注
	(时：分)			节长	油压值(MPa)	节长	油压值(MPa)	节长	油压值(MPa)	节长	油压值(MPa)	深度(m)	油压值(MPa)	对应压桩力(kN)				

监理工程师：_____ 技术负责人：_____ 施工员：_____ 记录员：_____ 年 月 日

附录 E
(资料性附录)
锤击沉桩施工记录表

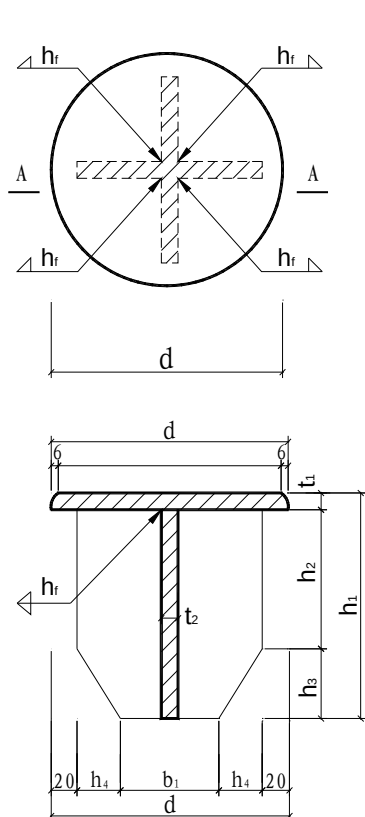
表 E 锤击沉桩施工记录表

工程名称: _____ 建设单位: _____ 施工单位: _____ 监理单位: _____
管桩型号: _____ 桩锤型号及落距: _____ 桩尖型式: _____ 管桩生产厂: _____

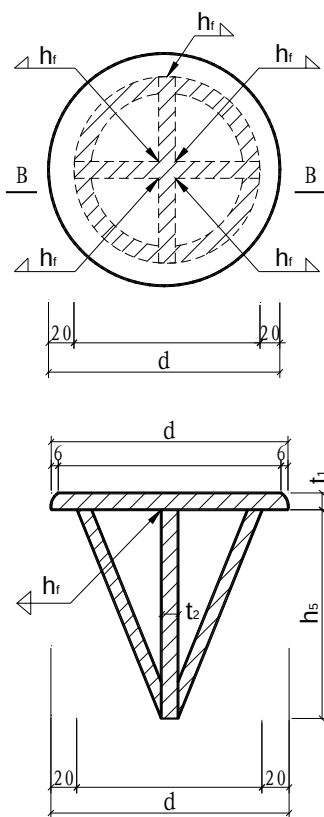
日 期	起止时间	序号	桩号	锤击数					最后 1 米 击数	总 锤 击 数	最后 10 击 贯入度 (mm)	桩端入 土深度 (m)	桩顶设 计标高 (m)	桩顶实 际标高 (m)
				第一节	第二节	第三节	第四节	送桩						
				节长 m	节长 m	节长 m	节长 m	深度 m						

监理工程师: _____ 技术负责人: _____ 施工员: _____ 记录员: _____ 日期: _____ 年 月 日

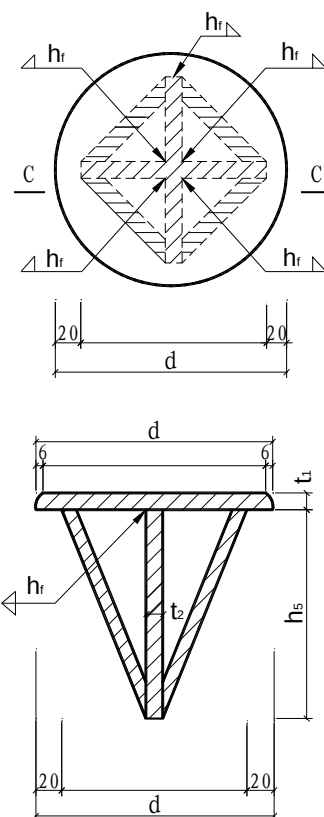
附录 F
(资料性附录)
闭口桩尖构造



A - A
图 F-1 十字形闭口桩尖



B - B
图 F-2 圆锥形闭口桩尖



C - C
图 F-3 棱锥形闭口桩尖

说明:

- 1 钢板可采用 Q235 材料;
- 2 钢板厚度 t_1 不应小于 14mm, t_2 不宜小于 16mm;
- 3 平底闭口桩尖(仅有厚度 t_1 的封底钢板)仅可用于直径 300mm 管桩;
- 4 h_2 、 h_3 、 h_4 、 b_1 等尺寸可根据桩径,拟穿透土层性质、单桩承载力等因素确定, h_1 不应小于 1/4 桩直径, h_5 不应小于 1/2 桩直径;
- 5 焊缝厚度 h_f 不宜小于 10mm, 未标注的各钢板之间的连接焊缝均为满焊;
- 6 d 可为管桩外径,必要时 d 也可以大于管桩外径。

附录 G
(资料性附录)
设计弯矩、极限弯矩、抗裂弯矩计算表

表 G-1 PHC 桩计算表

型号	本规程式(5.9.3)与式(5.9.4-1)				《混凝土结构设计规范》GB50010			Mu /M	M' u/ M	抗裂检 验值 M'_{cr} (kN·m)	极限检 验值 M'_u (kN·m)	开裂 剪力 kN
PHC	α	α_t	极限弯矩 M_u (kN·m)	抗裂弯矩 M_{cr} (kN·m)	α	α_t	设计弯矩 M (kN·m)					
A300-70	0.1033	0.4035	33.7	24.3	0.1280	0.8080	26.6	1.27	1.39	25	37	96
AB300-70	0.1589	0.3785	52.1	30.2	0.1954	0.7068	41.0	1.27	1.22	30	50	111
B300-70	0.2043	0.3581	66.7	35.2	0.2492	0.6262	52.3	1.28	1.19	34	62	124
C300-70	0.2724	0.3274	87.6	43.3	0.3278	0.5083	67.5	1.30	1.17	39	79	136
A400-95	0.0961	0.4067	75.0	56.3	0.1193	0.8211	59.0	1.27	1.37	54	81	173
AB400-95	0.1484	0.3832	116.4	69.2	0.1828	0.7258	91.7	1.27	1.16	64	106	200
B400-95	0.2011	0.3595	157.3	83.1	0.2455	0.6318	123.3	1.28	1.07	74	132	224
C400-95	0.2507	0.3372	194.3	96.9	0.3030	0.5454	150.6	1.29	1.17	88	176	245
A500-100	0.1208	0.3956	171.2	114.8	0.1494	0.7759	134.8	1.27	1.15	103	155	239
AB500-100	0.1650	0.3758	234.2	135.3	0.2027	0.6960	184.3	1.27	1.14	125	210	271
B500-100	0.2189	0.3515	309.3	162.0	0.2663	0.6005	241.5	1.28	1.10	147	265	302
C500-100	0.2516	0.3368	353.0	179.1	0.3041	0.5438	273.5	1.29	1.22	167	334	331
A500-125	0.1131	0.3991	178.1	120.1	0.1400	0.7899	139.4	1.28	1.20	111	167	284
AB500-125	0.1548	0.3803	244.7	140.9	0.1905	0.7143	191.7	1.28	1.18	136	226	327
B500-125	0.2060	0.3573	325.0	168.0	0.2512	0.6232	253.5	1.28	1.12	160	285	364
C500-125	0.2484	0.3382	389.3	191.9	0.3004	0.5493	300.9	1.29	1.20	180	360	399
A600-110	0.1147	0.3984	268.9	186.7	0.1419	0.7872	211.4	1.27	1.18	167	250	316
AB600-110	0.1568	0.3794	368.9	219.3	0.1929	0.7106	290.0	1.27	1.19	206	346	362
B600-110	0.2086	0.3562	489.0	261.6	0.2542	0.6186	382.3	1.28	1.15	245	441	404
C600-110	0.2455	0.3395	571.6	293.6	0.2971	0.5544	443.3	1.29	1.28	285	569	443
A600-130	0.1155	0.3980	296.9	200.5	0.1429	0.7856	232.5	1.28	1.16	180	270	362
AB600-130	0.1580	0.3789	407.4	235.8	0.1943	0.7086	319.3	1.28	1.17	223	374	417
B600-130	0.2100	0.3555	540.4	281.7	0.2559	0.6161	421.3	1.28	1.13	265	477	465
C600-130	0.2426	0.3408	621.0	312.0	0.2938	0.5593	480.9	1.29	1.28	307	615	510

表 G-2 PHC 桩材料参数

预应力钢筋			混凝土 C80				
f_{py}'	f_{ptk}	f_{py}	α_t	f_{ck}	f_c	f_{tk}	E_c
400	1420	1000	0.94	50.2	35.9	3.11	3.8×10^5

表 G-3 PC、PTC 桩计算表

型号	本规程式(5.9.3)与式(5.9.4-1)				《混凝土结构设计规范》 GB50010			Mu/M	M'u/ M	抗裂检 验值 M'_{cr} (kN·m)	极限检 验值 M'_u (kN·m)
PC	α	α_t	极限弯矩 M_u (kN·m)	抗裂弯矩 M_c r (kN·m)	α	α_t	设计弯矩 M (kN·m)				
A300-70	0.1272	0.3928	33.2	23.8	0.1571	0.7644	26.2	1.27	1.41	25	37
AB300-70	0.1941	0.3626	50.6	29.7	0.2372	0.6442	39.7	1.28	1.26	30	50
B300-70	0.2478	0.3385	63.9	34.7	0.2997	0.5505	49.5	1.29	1.25	34	62
C300-70	0.3269	0.3029	81.8	42.8	0.3887	0.4170	61.5	1.33	1.28	39	79
A400-95	0.1186	0.3967	74.1	55.1	0.1466	0.7801	58.3	1.27	1.39	54	81
AB400-95	0.1816	0.3683	113.5	68.1	0.2223	0.6665	89.0	1.27	1.19	64	106
B400-95	0.2440	0.3402	151.0	81.9	0.2954	0.5570	117.0	1.29	1.13	74	132
C400-95	0.3019	0.3142	183.1	95.8	0.3610	0.4586	139.2	1.32	1.26	88	176
A500-100	0.1484	0.3832	168.1	112.6	0.1827	0.7259	132.2	1.27	1.17	103	155
AB500-100	0.2013	0.3594	227.3	133.2	0.2457	0.6315	177.8	1.28	1.18	125	210
B500-100	0.2649	0.3308	294.9	159.8	0.3193	0.5210	227.2	1.30	1.17	147	265
C500-100	0.3029	0.3137	332.4	177.0	0.3621	0.4568	252.5	1.32	1.32	167	334
A500-125	0.1391	0.3874	175.3	117.7	0.1715	0.7427	137.2	1.28	1.22	111	167
AB500-125	0.1892	0.3649	238.3	138.6	0.2314	0.6529	186.0	1.28	1.22	136	226
B500-125	0.2498	0.3376	311.7	165.7	0.3020	0.5470	240.4	1.30	1.19	160	285
C500-125	0.2993	0.3153	367.6	189.6	0.3580	0.4630	279.0	1.32	1.29	180	360
A600-110	0.1410	0.3866	264.4	183.1	0.1738	0.7394	207.7	1.27	1.20	167	250
AB600-110	0.1916	0.3638	358.9	215.7	0.2342	0.6487	280.8	1.28	1.23	206	346
B600-110	0.2528	0.3362	468.1	258.0	0.3054	0.5418	361.6	1.29	1.22	245	441
C600-110	0.2958	0.3169	539.9	290.1	0.3542	0.4687	411.1	1.31	1.38	285	569
A600-130	0.1420	0.3861	292.0	196.7	0.1750	0.7375	228.6	1.28	1.18	180	270
AB600-130	0.1930	0.3632	396.5	232.0	0.2358	0.6463	309.4	1.28	1.21	223	374
B600-130	0.2545	0.3355	517.4	277.9	0.3074	0.5389	398.8	1.30	1.20	265	477
C600-130	0.2925	0.3184	587.6	308.3	0.3505	0.4742	447.3	1.31	1.37	307	615
PTC											
PTC300-60	0.1408	0.3867	34.3	13.4	0.1735	0.7398	27.0	1.27	0.96	19	26
PTC400-70	0.1189	0.3965	64.3	30.0	0.1470	0.7794	50.5	1.27	1.09	39	55
PTC500-80	0.1129	0.3992	113.2	56.1	0.1397	0.7904	88.8	1.28	1.11	71	99
PTC600-80	0.1314	0.3909	200.6	87.8	0.1622	0.7567	158.0	1.27	1.06	119	167
注：表中 $\alpha_t=0$ 者，均为 α 计算值大于 2/3，按 GB50010 规定，取 $\alpha_t=0$ 。											

表 G-4 PC、PTC 桩材料参数

预应力钢筋			混凝土 C60				
f_{py}'	f_{ptk}	f_{py}	α_t	f_{ck}	f_c	f_{tk}	E_c
400	1420	1000	0.98	38.5	27.5	2.85	3.6×10^5

用词用语说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1、表示很严格，非这样做不可时，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时，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，条件许可时首先应这样做时，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”。

湖北省地方标准

预应力混凝土管桩基础技术规程

DB42/489-2008

条文说明

目 次

1	总则	63
3	术语和符号	64
4	基本规定	65
5	管桩制作	70
5.1	材料	70
5.2	规格及尺寸	70
5.3	构造要求	70
5.4	制作工艺	70
5.5	检验验收	70
5.7	贮存及搬运	71
5.9	桩身强度的计算	71
6	管桩基础勘察	72
7	管桩基础设计	75
7.1	管桩基础构造	75
7.2	桩顶作用效应计算	76
7.3	桩基竖向承载力计算	76
7.4	单桩竖向抗压承载力	76
7.5	特殊条件下桩基竖向承载力验算	77
7.6	桩身承载力与裂缝控制验算	85
7.7	桩基沉降计算	87
7.8	桩基水平承载力与位移计算	88
8	沉桩施工	89
8.1	一般规定	89
8.2	管桩的吊运及堆放	89
8.3	施工机具	90
8.4	沉桩	90
9	检验与监测	93

1 总 则

1.0.1~1.0.2 预应力混凝土管桩以其桩身质量可靠、施工快捷、技术经济指标较好等优点，得到了广泛的应用。湖北省自 2000 年开始引进此项技术，几年来发展迅速。目前武汉市已有半数以上的桩基工程采用了管桩基础，荆州、襄樊、黄石、黄冈等地也相继推广，湖北省每年使用管桩的数量已超过八百万米，且呈递增趋势。

由于我省缺乏管桩应用的经验，近来在管桩设计和施工中出现了一些问题，有的给工程带来隐患或损失。如选型不当、构造措施不妥、桩的挤土效应影响邻近桩的承载力、桩身破裂严重、施工影响周边环境等，设计计算参数的选取也缺少依据。因此，编制本规程用以规范湖北省预应力混凝土管桩的设计、施工和检测工作是十分必要的。

本规程针对湖北省的具体情况，依据国家及行业标准的原则进行编写，并在以下几个方面对现行标准进行了补充，发展和完善：

- 1 明确了混凝土管桩的适用范围；
- 2 列入了用锚杆静压沉桩的短节预应力混凝土管桩的新工艺；
- 3 完善了管桩耐久性设计的要求；
- 4 提出了合理可行的抗拔桩设计方法及构造措施；
- 5 提出了一定地质条件下以桩身强度控制设计，以压桩力或贯入度控制桩长的新的设计理念；
- 6 完善了混凝土管桩的检测方法；
- 7 提出了缺陷桩的处理方法；
- 8 完善了管桩水平承载力的设计计算方法；
- 9 补充完善了管桩基础勘察工作的内容；
- 10 修改完善了桩侧、桩端阻力的经验参数。

本规程按照《建筑桩基技术规范》JGJ94 提出了注意概念设计的要求。桩基概念设计的内涵是指综合相关因素制定该工程桩基设计的总体构思，包括桩型、成桩工艺、桩端持力层、桩径、桩长、单桩承载力、布桩、承台形式、是否设置后浇带等，它是施工图设计的基础。概念设计应在规范框架内，考虑桩、土、承台、上部结构相互作用对于承载力和变形的影响，既满足荷载与抗力的整体平衡，又兼顾荷载与抗力的局部平衡，以优化桩型选择和布桩为重点，力求减小差异变形，降低承台内力和上部结构次内力，实现节约资源、增强可靠性和耐久性。可以说，概念设计是桩基设计的核心。

1.0.3 本规程编制单位包括了勘察、设计、施工、大专院校、检测、管桩制造厂家等部门，市政设计单位也参加了编制。本规程适用于建筑工程中的混凝土管桩基础的勘察、设计、施工、制作及检验。市政工程可参照使用。

3 术语和符号

3.1.1~3.2.4 为保证术语的严肃性，本规程术语以 JGJ94 为依据，以求与国家标准及行业标准的统一。

主要符号的标注尽量与国家标准、行业标准及惯用的符号相一致。

4 基本规定

4.0.2 直径为 300mm 至 600mm 的管桩，在建筑工程中应用较广泛，而大直径管桩，由于其竖向及水平承载力较高，在港湾工程及桥梁工程中也得到广泛应用。大直径管桩(包括管柱)的制造工艺、设计方法、施工方法及检测方法等均有其特殊性，鉴于其在建筑工程中应用较少，本规程不作具体规定，在应用中可执行相关规范的规定。

高层建筑基础补强中需要承载力较高的锚杆静压桩，过去大多采用价格昂贵的钢管桩，在高层建筑基础补强中采用桩径为 300mm 及 400mm 的锚杆静压 PHC 管桩，单桩承载力特征值分别采用 850kN 及 1400kN，可取得显著的经济效益和社会效益。本规程对此种新技术作出一些原则规定。桩段长度、配筋要求、混凝土强度等级以及是否需要施加预应力等，尚应根据工程具体情况，由设计人员确定。

管桩外形尺寸规则，对多桩节的锚杆静压桩，可保证接头质量及桩身顺直度，提高了工程质量，经济指标也优于钢管桩及普通预应力混凝土方桩。

4.0.3 划分建筑桩基设计等级，旨在界定桩基设计的复杂程度、计算内容和应采取的相应技术措施。桩基设计等级是根据建筑物规模、体型与功能特征、场地地质与环境的复杂程度，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划分为三个等级。

甲级建筑桩基，第一类是(1)重要的工业与民用建筑；(2)30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑和构筑物。这类建筑物的特点是荷载大、重心高、风载和地震作用水平剪力大，设计时应考虑采用桩基承载力变幅大、布桩具有较大灵活性的桩型，利用基础埋置深度，严格控制桩基的整体倾斜，保证建筑物的稳定。第二类是(3)体形复杂、层数相差超过 10 层的高低层连体建筑物；(4)20 层以上框筒结构及其他对于抵抗差异变形的性能较差，或使用功能上对变形有特殊要求(如冷藏库、精密生产工艺的多层厂房、液面控制严格的贮液罐体、精密机床和透平设备基础等)的建筑物桩基，须严格控制差异变形乃至沉降量。桩基设计中，首先，概念设计要遵循变刚度调平设计原则；其二，在概念设计的基础上要进行上部结构—承台—桩土的共同作用分析，计算沉降等值线、承台内力和配筋。第三类是(5)场地和地基条件复杂的、七层以上的一般建筑物；(6)对相邻既有工程影响较大的建筑物。这类建筑物自身无特殊性，但由于场地条件、环境条件的特殊性，应按桩基设计等级甲级设计。如场地处于岸边高坡、地基为半填半挖、基底同置于岩石和土质地层、岩溶极为发育且岩面起伏很大、桩身范围有厚层自重湿陷性黄土或可液化土等等，这种情况下首先应把握好桩基的概念设计，控制差异变形和整体稳定、考虑负摩阻力等；又如在相邻既有工程的场地上建造新建筑物，包括基础跨越地铁、基础埋深大于紧邻的重要或高层建筑物等，此时如何确定桩基传递荷载和施工不致影响既有建筑物的安全成为设计施工应予控制的关键因素。

丙级建筑桩基的要素同时包含两方面，一是场地和地基条件简单，二是荷载分布较均匀、体形简单的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑；桩基设计较简单，计算内容可视具体情况简略。乙级建筑桩基，为甲级、丙级以外的建筑桩基，设计较甲级简单，计算内容应根据场地与地基条件、建筑物类型酌定。

目前武汉市已有 33 层的住宅建筑采用 PHC-A500-125 管桩基础的先例，单桩承载力特征值高达 2500~2700kN，桩端持力层附加应力过大且布桩密集，为确保安全，对 30 层以上或高度超过 100m 的建筑物，当采用管桩时，应通过专门的技术论证。

4.0.4 桩基设计所采用的荷载效应组合和抗力是根据与计算或验算的内容相适应的原则确定。

1 确定桩数和布桩时，由于抗力是采用基桩极限承载力除以综合安全系数 $k=2$ 确定的特征值，

故采用荷载分项系数 γ_G 、 γ_Q 均等于1的荷载效应标准组合。

2 计算荷载作用下基桩沉降和水平位移时,考虑土体固结变形的时效特点,应采用荷载效应准永久组合;计算水平地震作用、风荷载作用下桩基的水平位移时,应按水平地震作用、风载作用效应的标准组合。

3 验算边坡、岸边建筑桩基整体稳定时,属承载能力极限状态,故采用荷载效应基本组合,与GB50007相吻合。

4 在计算承台结构和桩身结构时,应与上部混凝土结构一致,承台顶面作用效应应采用基本组合,其抗力应采用包含抗力分项系数的设计值;在进行承台和桩身的裂缝控制验算时,应与上部混凝土结构一致,采用荷载效应标准组合和荷载效应准永久组合。

5 桩基结构作为结构系统的一部分,其安全等级、结构使用年限和结构重要性系数 γ_0 ,应按现行有关建筑结构规范的规定采用。

6 进行桩基结构抗震验算时,由于桩基结构是混凝土结构的延伸部分,其承载力调整系数 γ_{RE} 可按本规程第7.6.7条的规定采用。

4.0.5 本条规定了混凝土管桩的适用范围。按照武汉地区施工可行性的经验表明,管桩可顺利穿越各类软土、一般粘性土、粉土、松散及稍密的砂类土。对层厚15m以上的中密砂层及层厚10m左右的老粘性土层也有穿透的工程实例。由于强度较高的老粘性土、中密以上砂类土、碎石土及强风化岩各自的性质有差异,层位有变化,管桩是否能穿越上述土层,尚需通过试验确定。

石灰岩及中风化、微风化硬质岩表面往往凹凸不平,管桩不能入岩,也不能置于不平的岩石表面,同时沉桩时桩身也容易破损,因此不能采用石灰岩及中风化、微风化硬质岩作桩端持力层。

当硬质岩石上的残积土及强风化层较薄,且其上又为深厚软土时,沉桩施工不易掌握,当桩端接近硬质岩石时,此类端承桩的稳定性不好,应予慎重考虑。

当坚硬持力层上为深厚的淤泥和淤泥质土时,为端承型桩。为确保沉桩时桩身不受损及桩基使用中的稳定性,要求长径比不宜大于60,同时尚应考虑采取基坑开挖中保护桩基不受损坏的措施。如持力层上的软土中夹有较好土层,则可不受此限制。

当场地存在深厚淤泥、淤泥质土;且基础开挖深度较大时,经常发生开挖土方中损坏管桩的事故,应引起高度重视,并考虑改变桩型或对软土进行处理的可行性。

管桩管壁较薄且纵向主筋直径较小(7.1~12.6mm),抗腐蚀性能不好,对承受拉力、水平力的桩,一旦钢筋失效,后果严重。因此PTC薄壁管桩仅能用于临时性建筑。

对于设计使用年限为100年的重要建筑,GB50010对其耐久性作了严格的规定。如在一类环境中混凝土保护层增加40%,最大氯离子含量不超0.06%等。湖北省管桩大多处于二类环境中,应加强防护。因此,本规程规定设计使用年限为100年的建筑,管桩壁厚不应小于95mm。

在侵蚀性环境中除管桩壁厚不应小于95mm外,尚应按相关标准要求采取保护措施,同时可考虑根据腐蚀介质的性质,要求厂家生产特种抗腐蚀混凝土的管桩。

4.0.6 本条为强制性条文,当管桩设计中遇有所列情况之一时,必须对该情况进行验算,但所列情况不是每项工程全都能遇到的,因此,设计中应根据工程具体条件有针对性地进行计算或验算。

4.0.7 本条根据JGJ94中的强制性条文规定的原则,结合湖北省的经验及沉降观测数据进行了修改。对于持力层为中风化软质岩的嵌岩桩可不进行沉降验算;桩端持力层为中密及中密以上的砂类土、碎石土、强风化层或硬塑及硬塑以上的老粘土,当无软弱下卧层且对沉降无特殊要求的建筑桩基可不进行沉降验算。高低层连体的桩基应视为对沉降有特殊要求。

软土地基多层建筑减沉复合桩基在设计过程中沉降验算是一项必需的环节，因此仍以强条形式列出。

4.0.8 建筑物水平位移的计算方法不成熟，建筑物体型及平面形状各异，水平位移计算十分复杂。一般的建筑及高层建筑水平力在一定限度范围内，可不进行水平位移计算。对于对水平位移有严格限制的桩基，当水平力很大时应计算水平位移，可按 JGJ94 附录 B 的规定进行计算。

4.0.9 混凝土管桩沉桩中的挤土效应不容忽视。挤土效应突出表现在对邻近管线、建筑物及道路的影响，同时有可能影响邻桩的质量及承载力。

挤土效应的影响范围的确定是一件复杂的工作，影响范围与土质、土层构造、地下水状况、施工顺序、桩长、桩数等相关，一般情况下，软土的影响范围大，粘性土影响范围又大于砂类土；桩愈长、桩数愈多影响范围愈大。

当建筑物受挤土影响时，建筑物荷载大者受损小，采用桩基者，受损小。

减少挤土效应的途径有多种，如增加桩长、减少桩数；采用开口桩尖，合理安排沉桩顺序；沉桩前引孔；设置隔离沟、孔等。其中引孔措施较为常用，引孔可采用长螺旋钻机，引孔深度视具体情况而定，一般不小于二分之一桩长且不小于 8m；引孔直径较桩外径小 50~100mm。

4.0.10 管桩作为抗拔桩有抗裂等方面的要求，过去没有经验，由于构造措施比较复杂，因此本规程单列一节进行阐述。有条件时尽量不利用管桩作抗拔桩。管桩也可通长灌芯，灌芯混凝土强度等级不应低于 C30，抗拔钢筋通长设置，不考虑预应力钢筋的抗拔作用。灌芯钢筋笼设 $\Phi 8@200$ 箍筋，每 2m 设一道加强筋。必须保证灌芯混凝土的浇注质量。

4.0.11 混凝土管桩桩端持力层多选在低压缩性土层中，当选择中、高压压缩性土层时，应进行沉降验算，以变形控制设计。对平面规则、荷载均匀且对沉降无严格要求的建筑物，经沉降验算及经济比较后，方可采用桩端落于高压压缩性土层中的摩擦型桩，此类摩擦型桩的沉降较大，稳定期较长，在特殊的岩土工程条件下，比如场地中、低压缩性土埋置很深，或地面沉降的深厚软土区，可在采取必要的结构措施并加强试验和监测工作后慎重使用。

同一结构单元的桩基，不宜选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层，不宜部分采用摩擦型桩和部分采用端承型桩的规定是根据 GB50011 的要求，并考虑减少差异沉降的因素列出的。按照 JGJ94-94 修编中提出的桩基变刚度调平设计的新理念，本规程进行了调整。对于符合变刚度调平设计条件的建筑桩基，对基础类型、桩受力性质、桩基持力层选择等可不受上述限制，按桩—承台—土共同作用的原则进行设计。

4.0.12 由于管桩沉桩的挤土效应，对坡地、岸边及倾斜土层的稳定有不利影响，同时桩端进入稳定土层的深度有时也不易控制(稳定土层为硬土时)，当桩端进入稳定土层的深度不能满足计算要求时，可采用引孔等措施，否则不能采用管桩基础。

对桩端持力层面倾斜不大的情况，仅需合理调整桩端进入持力层的深度，即可保证桩基稳定。对于桩端持力层底面倾斜较大的情况，则应根据土层倾角、土质、荷载大小以及地形、地貌状况综合分析，进行必要的验算，并结合地形、地貌采用支挡、反压等方法保证桩基整体稳定。

4.0.13 利用岩溶地区的上覆土层作桩端持力层时，必须保证上覆土层的稳定性。判别场地稳定性的标准应按照 DB42/242 的有关规定进行分析。在上覆土层不稳定的情况下，宜对上覆土层或岩溶进行加固处理，或选用其他类型的嵌岩桩基。

4.0.15 桩—土—承台共同作用的机理比较复杂，当承台底地基土强度较高时，利用承台底地基土抗力的办法较多，比如所谓复合桩基、混凝土桩复合地基、控制沉降的桩基等，其共同点均是按照桩—

承台—土的共同作用原理，考虑利用承台底土的抗力，不同点是计算的假定条件及沉降的控制标准不同。应用的原则如下：

1 对变形要求严格的建筑物宜采用桩基或复合桩基(桩顶直接锚入承台)，允许一定变形的建筑物可采用桩顶与承台底之间设有褥垫的混凝土管桩复合地基，允许较大变形的建筑物可采用控制沉降的桩基或复合疏桩基础。

2 必须保证桩、土变形协调的条件，比如采用可以沉降的摩擦型桩、桩顶设置褥垫、地基土进行适当处理等措施。对软土、欠固结土、可液化土、湿陷性土、新填土及沉桩或基坑开挖引起土体隆起的场地，不宜考虑承台底地基土的抗力。这里特别指出，管桩为挤土桩，土体隆起不可避免，但当承台埋置较深或布桩不密集时，土体有轻微隆起时仍可利用承台底土的抗力。

3 为防止荷载向桩顶集中，导致桩身强度不足，桩身强度应留有余地，确保桩身不致破坏。

4 宜保持较大桩距(4.5d 左右)。

应当指出，当前应用较多的复合桩基、混凝土桩复合地基、控制沉降的桩基在理论上均不成熟，属过渡的措施。同一工程采用一种类型的管桩用以上三种办法设计，可得到不同(甚至差异较大)的结果，设计人员应根据工程具体情况决定取舍。

4.0.16 锚杆静压混凝土管桩的施工方法与锚杆静压混凝土方桩及钢管(型钢)桩的施工方法相似。目前沿用的行业标准《锚杆静压桩技术规程》YBJ227-91 已有许多内容不符合当前的实际情况，如压桩力为单桩竖向抗压承载力特征值的 1.5 倍，压桩力偏小等。管桩压桩力应控制为 1.7~2.0 倍承载力特征值，长桩取小值。

承台(基础)预留孔洞可为圆形，也可为正方形，模板必须拆除。孔内管桩顶距承台(基础)顶面的距离不宜小于 500mm，如单桩承载力要求较高，应通过计算确定管桩顶的标高。由于孔内截桩很困难，施工中可仅控制桩顶距承台(基础)顶面的最小距离，桩顶标高不必一致。必须截桩时，桩顶以下应浇注 C30 以上的填芯混凝土，浇注深度不小于 1.2m。

封口仍采用 C30 以上的微膨胀细石混凝土，混凝土坍落度宜为 3~7cm，用插入式振动棒振实，承台(基础)顶面锚杆之间，如无条件可不连接。

由于压桩力较大，锚杆宜预埋，不具备预埋条件时，可采用钻芯机或风钻钻孔埋设，粘结材料宜为结构胶或硫磺胶泥。锚杆埋入深度不宜小于 15 倍锚杆直径，锚杆底部宜加焊锚固弯筋。

为充分利用管桩桩身强度，管桩的直径不宜大于 400mm，否则压桩力过大，锚固困难，同时承台(基础)上预留孔洞过大，影响承台(基础)的钢筋布置。

单桩竖向抗压承载力的估算方法同普通管桩。单桩竖向抗压承载力特征值应通过载荷试验确定，试验反力装置可利用压桩架，加载可用压桩千斤顶。千斤顶及油压表应按规定进行率定。

压桩架应根据压桩力大小进行设计、制造，其强度和刚度应满足施工要求。

4.0.17 黄石市及武汉市先后发现几起沉桩挤土严重影响单桩承载力的事例，致使单桩承载力减小 30%~40%，危及工程安全。上述现象全部发生在桩侧土为粘性土，桩端持力层为强风化软质岩的场地。武汉市在桩端进入砂类土较深的场地沉桩，尚未发现影响邻桩承载力的事例。由于经验的积累和总结尚需时日，目前尚不能界定挤土效应影响单桩承载力的地质条件、桩的布置及沉桩顺序等条件。沉桩挤土影响单桩承载力的表现主要是沉桩中邻桩桩顶的上浮。本规程第 9 章规定了无经验地区在沉桩中对桩顶标高进行监测的要求。如发现上浮，则应进行单桩竖向静载试验，或在复打(压)后进行静载试验。对于送桩较深无复打(压)条件的工程，发现基桩上浮时，应采取措施或改变桩型。

目前已在老粘土地区施打管桩，管桩长度较短，挤土效应的影响尚无经验，宜在工程桩中选择群

桩中的单桩进行静载试验，确认单桩承载力，同时应加强沉桩施工中桩顶上浮的监测。

4.0.18 管桩基础在基坑挖土中由于未坚持分层开挖，导致管桩偏斜、损坏的现象时有发生，特别在淤泥和淤泥质土中更为普遍。JGJ94 以强条形式作出了规定，此规定符合湖北省的实际。所谓小型机械配合人工开挖，系指人工挖出并截断桩头，再用小反铲挖土。

4.0.19 此条强制性条文为 JGJ94 中的规定。基槽回填土的质量直接影响建筑物的稳定性，特别在高层建筑中，影响更为显著。湖北省普遍存在基槽回填不符要求的现象，应予坚决纠正。

4.0.21 桩顶附近发生缺陷或桩顶标高低于设计标高的情况时有发生，此时需要进行接桩处理。本条较明确地规定了接桩处理的构造要求，便于执行。对于抗拔桩和受水平力较大的桩，不适宜采用本条构造，应进行专门设计。

5 管桩制作

5.1 材料

5.1.3 GB13476 和《先张法预应力混凝土薄壁管桩》JC888 两个标准中规定预应力钢筋应采用预应力混凝土用钢棒和钢丝，目前厂家普遍采用预应力混凝土用钢棒，GB13476 修编时强调了钢棒的唯一性，即应采用低松弛螺旋槽钢棒。常用的钢棒为 SBPD1275/1420。GB/T5223.3 对其力学性能作了规定，其抗拉强度标准值为 1420MPa，规定非比例延伸强度为 1275MPa，按 GB50010 的有关规定，抗拉强度设计值可取 $1420 \times 0.85 / 1.2 = 1006\text{MPa}$ ，近似取 1000MPa，抗压强度设计值取 400MPa。

5.1.6 常用的混凝土掺合料有粉煤灰、矿粉、磨细石英砂等。掺合料既能置换混凝土中的部分水泥，降低水泥用量，同时能改善混凝土性能，提高混凝土的强度。但不同的掺合料作用机理不同，有些还有待进一步探讨，实际应用中应对掺合料进行严格的筛选，通过试验验证，掌握好掺合料用量、粒度，才能发挥其独特的功效。

5.2 规格及尺寸

5.2.1 管桩规格包含了我省建筑工程中常用和可能用到的各种直径管桩。按有效预应力分类时，按预应力钢筋的配置其有效预压应力与分类的规定值 4MPa、6MPa、8MPa、10MPa 将有一定的差异，但应满足各型号管桩的抗弯检验要求。

5.2.2 吸纳了 GB13476 修编内容，对预应力钢筋保护层厚度作了明确规定，增加管桩耐久性。

5.3.2 吸纳了 GB13476 修编内容，增加管桩配筋率，提高了抗弯刚度。

5.3 构造要求

5.3.3 端板焊接接头为管桩常用接头型式，管桩接头钢材可按年腐蚀速率 0.03mm 考虑接桩焊缝厚度和端头板厚度，焊接时应将端板周围的 U 型焊缝接口焊满，焊缝内应无焊渣且表面光滑。

5.4 制造工艺

5.4.7 GB13476 管桩标准中规定：放张预应力筋时，PC 桩的混凝土抗压强度不得低于 35MPa。PHC 桩的混凝土抗压强度不得低于 40MPa。而 JC888 薄壁管桩(PTC 桩)标准中规定：放张预应力筋时，混凝土抗压强度等级不得低于 40MPa。为确保管桩质量，并便于管理，本规程规定：放张预应力筋时，混凝土的抗压强度均不得低于 40MPa。

5.5 检验验收

5.5.3 管桩的耐打性不仅与混凝土强度有关，还与混凝土的成熟度有关，因此，沉桩不仅要求达到 100%的设计强度，还要求管桩有一定的存放龄期。对压蒸养护的 PHC 桩。混凝土强度等级的龄期为

出釜后 1d；对常压养护的 PC、PTC 桩，混凝土强度等级的龄期为出釜后 14d。如有其他有效措施且有试验数据表明 PC、PTC 桩混凝土抗压强度及抗拉强度能达到与标准养护 14d 龄期之强度时，可不受龄期的限制，但不得少于 7d；当采用锤击法沉桩时管桩的混凝土龄期仍不得少于 14d。

5.5.7 GB13476 修编中增加预应力钢筋配筋率，管桩的抗弯性能有了增加，表 5.5.7-1 列出了调整后的抗裂弯矩、极限弯矩检验值。

5.7 贮存及搬运

5.7.1 对超过允许两端钩吊长度的桩，应进行吊点位置设计及桩身强度验算，动力系数可采用 1.5。管桩采用汽车运输时，应在车上位于距桩端 0.21 倍桩长处设置固定支承点，装运时，应将管桩一根挤一根平行放置，一层叠一层错位放置，大直径桩、长桩放在下面，小直径桩、短桩放在上面，一堆桩应绑固成一体，并在四周塞紧，防止晃动。

5.9 桩身强度

5.9.1~5.9.4 极限弯矩及抗裂弯矩计算采用了苏州中材建筑建材设计研究院主编的标准图集 03SG409 的计算公式，计算公式来源于 GB50010。在抗裂弯矩计算中增加了离心混凝土轴心抗拉强度标准值的工艺系数 (C60 时取 $K=2.0$ ，C80 时取 $K=1.9$)。根据管桩实测极限弯矩值分析，发现 50%左右的桩计算值偏大，因此，03SG409 图集中对 GB50010 提出的弯矩计算公式进行了调整。将公式中材料的强度设计值换为强度标准值。同时从试验中桩身裂缝分布和发展分析，预应力受拉钢筋截面积与全部纵向钢筋截面积的比值，按 GB50010 规定 $\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$ 计算，明显偏大，因此，03SG409 图集将预应力钢筋矩形应力分布区为受拉区的 45%考虑，即 $\alpha_t = 0.45(1 - \alpha)$ 。

这里特别指出，在环形截面管桩的弯矩计算中， α 值较小，实际受压区为环内弓形面积，按环形计算可能会低估截面承载力，从安全计，可仍以环形截面进行计算。

5.9.5 本条所列公式为经验公式，可供参考。抱压压桩力对桩身产生的横向力比顶压压桩力一般大 30%~50%，在抱压力作用下，管桩内壁在力作用点处产生拉应力，外壁在力的作用点处也将产生很大的应力，可能导致桩身受损或劈裂，因此必须限制抱压力。

6 管桩基础勘察

6.0.1 管桩基础设计前应进行相应阶段的岩土工程勘察，该条强调管桩基础的勘察与评价，除应执行 GB50021、JGJ94、《高层建筑岩土工程勘察规范》JGJ72 和《岩土工程勘察工作规程》DB42/169 的有关规定外，尚应符合本规程的规定。施工过程中发现岩土条件与勘察资料不符或存在异常情况必须查明时，应进行施工勘察。

6.0.2~6.0.3 GB50021 规定：对端承桩宜为 12~24m，对于摩擦桩宜为 20~35m。根据湖北地区经验，本规程原则规定详细勘察勘探点间距宜为 12~30m 是合适的，勘探点的间距取决于岩土条件的复杂性，本着按地基的复杂程度等级且兼顾桩距通常应为 6m 的倍数这一原则确定勘探点间距。当地基复杂程度等级为一级（复杂）时，勘察点间距为 12~18m，当地基复杂程度等级为三级（简单）时，勘探点间距为 24~30m，当地基复杂程度等级为二级（中等复杂）时，勘探点间距为 18~24m。在布设勘探点时对主体建筑角点、荷载和建筑体形变异较大处应有勘探点进行控制。由于要求对主楼建筑角点应布设探点进行控制。同一场地密集建筑群中的单栋建筑，由于勘探点可共用，每栋建筑物勘探点不应少于 3 个。

对于预应力管桩，最为担心的是持力层起伏情况不清而造成大面积的截桩或接桩，为此，应控制相邻勘探点揭露的持力层面坡度、厚度以及岩土性状的变化，所以，本条规定当相邻勘探点揭露的持力层面高差幅度变化较大时（大于 2m）、或设计有特殊要求时，勘探点间距应适当加密。

对于基础宽度大于 25m 的高层建筑不仅应沿建筑物周边布孔，其中线尚宜布设勘探点，以查明地层在纵横两个方向的变化情况。

6.0.4 为充分发挥管桩桩身强度，管桩设计时，有时以桩身强度控制设计，沉桩施工时进入持力层的深度又往往以压力值或贯入度为主要控制指标。由于管桩具有较强的穿透能力，在某些情况下，一般性勘探孔的深度不能满足管桩设计和施工的要求，甚至出现管桩进入持力层的深度大于钻探揭示的持力层深度。若桩端以下存在软弱土层，可能会带来安全隐患。所以，当以桩身强度控制设计时，适当加勘探孔的深度是必要的。根据施工经验，一般应在原勘探孔的深度上加深 5~8m，若在此深度范围内存在软弱土层，应钻穿软弱土层深入稳定分布的地层，若遇到硬质岩可终孔，若遇到弱质岩，可减小加深深度。

6.0.5 勘察方法不应单纯采用钻探，应根据地层特点采用钻探和静力触探、动力触探等原位测试相结合的方法，本条对不同地层条件下的勘察方法做出了规定。位于江河低阶地及与江河低阶地相类似的平原地区，主要为第四系全新统的粘性土、砂土及砂卵石构成，且往往在粘性土与砂土之间存在粉土或粉砂夹粉质粘土（互层），单纯采用钻探易造成误判。由于原位测试是在天然条件下原位测定岩土体的各种工程性质，它所取得的数据远比勘探取样进行室内试验所得的数据准确可靠，更符合岩土体的实际情况，还可以测定难以采取不扰动试样的岩土体有关工程性质。静力触探既是一种勘探手段，也是一种现场原位测试手段，由于是用静力将标准规格的探头压入土中，可以获取地层的连续资料，了解地层的软硬变化情况，所以指出勘探手段可侧重采用静力触探和其他原位测试方法。

当锤击数已达 n 击($n \geq 50$ 击)，而贯入深度未达 30cm 时，可终止试验，并记录 n 击的实际贯入深度，按下式换算成 30cm 的标准贯入试验锤击数 N ：

$$N = \frac{30}{\Delta S} n \quad (6.0.5)$$

GB50021 确定的终止试验标准为 $N = 30 \times \frac{50}{\Delta S}$ ，根据广东经验，这样的做法会失去很有用的实测

数据，建议 50 击改为 100 击，本条原则上仍采用 GB50021 确定的终止试验标准，但也兼顾了广东的经验，即要求锤击数 $n \geq 50$ 击。

该条指出标准贯入试验锤击数不进行杆长修正，这与《岩土工程勘察规范》GB50021“勘察报告应提供不作杆长修正的 N 值”是一致的，在以标准贯入试验锤击数进行砂土密实度分类和粘性土状态的分类以及进行残积土和强风化岩划分时，也是采用未进行杆长修正的锤击数。

6.0.6 对需要采用静力触探或仅能采用圆锥动力触探进行原位测试的土层，每栋建筑物每一主要土层的原位测试数据不应少于 3 次。

6.0.7 埋深适当且有一定厚度的中密~密实的砂层、老粘性土层是预应力管桩良好的桩端持力层，但在砂层中可能分布有连续的或不连续的软弱粘性土、粉土夹层，当基底岩层为灰岩时，在岩土交界面上也有可能存在软塑甚至流塑状态的粘性土层，成为桩端平面以下的软弱下卧层。若该软弱下卧层距桩端距离大于桩径的 4 倍，尤其桩端持力层为密实状态的砂层，坚硬状态的粘性土层，桩端要穿过软弱下卧层就有一定的难度，甚至出现桩身爆裂。

变形控制是地基设计的主要原则，当压桩力或贯入度已满足控制指标的要求，是否一定要穿过软弱下卧层，关键在于软弱下卧层的强度和变形。为此，应采用综合勘探手段查明软弱下卧层的空间分布，提供软弱下卧层的工程特性指标。

对于不连续分布的软弱下卧层，为查明其分布范围，宜加密勘探点。

在测求软弱下卧层的压缩性指标时，试验压力不应小于实际土的有效自重压力与附加压力之和，并提供综合压缩曲线。

一则由于各勘察手段都有其局限性和对地层的适宜性，另则，“在复杂的岩土工程和环境系统中，不确定性极强，以致任何一种来源的知识都难以支持可靠的决策，多源知识的综合集成显然是最佳的选择，当多源知识结论一致时，决策的可靠度较高，当多源知识互斥时，应分别自检。并互馈信息，以期得到结论的一致”。这就是要求采用综合勘察手段的目的所在。

当基底为灰岩等碳酸盐系的岩石时，其上往往有红粘土(或其他土层)分布，由于地下水的活动易形成土洞，在岩土交界面处也往往有流塑~软塑状态的粘性土，这种不良地质作用和特殊性岩土都会影响桩基的安全甚至场地的稳定性，用钻探的手段进行地层划分时，受钻探工艺、司钻水平、现场编录或工程负责人的经验等诸多因素影响，有时会出现误判，给工程带来安全隐患。所以，应加密取样间距，或采取原位测试手段以获取该段地层连续的原位测试数据。

6.0.8 建筑场地或其附近存在影响工程安全的岩溶、滑坡等不良地质作用时，应对场地稳定性和建筑适宜性进行评价。对评价为稳定和适宜的场地，当岩溶上覆地层稳定且有一定厚度时，尽可能利用上覆地层作为桩端持力层。否则应按 GB50021 和《岩土工程勘察工作规程》DB42/169 有关规定进行专门勘察。

6.0.9~6.0.10 本条是针对编写岩土工程详勘报告应包括的主要内容做出的规定，凡 GB50021 列为强制性条款的内容，这里也作为强制性条款列出。

坡上、坡顶的建筑物以及当以倾斜岩土层为持力层或基础侧旁开挖的建筑物，应考虑沉桩时的挤土效应，施工方法或施工顺序选择不当以及建筑物施加的附加压力易使坡体失稳和倾斜岩土层产生滑移，致使桩基失稳。所以要求应对桩基的稳定性进行评价，对桩基施工提出建议。对桩端持力层为残积土、强风化或中风化软岩时遇水软化的可能性进行评价。强风化岩或中风化软岩浸水后可能会引起

工程性质的蜕化，承载力显著降低，应引起重视。基于此，要求对遇水软化的可能性进行评价。

沉桩的可能性和沉桩对环境的影响是勘察报告中必须进行评价的两项重要内容。管桩属于挤土桩，无论采用打入式沉桩或采用静压式沉桩，都不可避免会对周边环境产生影响。所以，必须对周边环境进行调查，尤其是对场地周邻可能遭受管桩施工影响的敏感性地面、地下建筑、设施的调查，并作为沉桩对环境的影响的评价依据。

对于施工勘察、专门勘察报告，应按 GB50021 和《岩土工程勘察工作规程》DB42/169 规定编写。

7 管桩基础设计

7.1 一般规定

7.1.1 管桩除植桩工艺外，均为挤土桩。桩中心距的确定主要考虑以下几个因素：

- 1 增大群桩效应系数，充分发挥桩—土—承台共同作用的效应。对端承型桩桩中心距可适当减小，对摩擦型桩及利用承台底抗力的复合桩基、减沉桩等则应加大桩距。
- 2 沉桩中挤土效应对邻近桩承载力及桩身结构的影响，群桩的桩距应大于单桩的桩距。
- 3 岩土工程条件，在饱和软土中采用密集的桩群时，桩距宜加大。
- 4 经济指标，桩中心距加大承台面积增大，配筋增加。对高层建筑往往造成布桩困难，需要设计为桩筏基础，有的甚至不能采用管桩。

根据 JGJ94 的规定，结合湖北省的具体情况以及上述因素的分析，本规程作出了具体规定。

鉴于常用管桩桩径不大，不宜采用一柱一桩。如建筑物荷载小且稳定性较好时，可采用一柱一桩。但桩径不应小于 500mm 且不应小于柱长边或直径，确保桩的刚度和强度不小于柱的刚度和强度。

对刚度好的高层建筑以及大体量筒仓、储罐的桩基，采用内强外弱的布桩方式可以减少差异沉降，减少承台内力，在变刚度调平设计尚无经验的情况下，在布桩时适当考虑采取上述措施，是有利的、可行的。

7.1.3 桩顶嵌入承台的深度 JGJ94 规定不宜小于 50mm，大直径桩不宜小于 100mm，广东省规定 70~100mm。考虑到桩顶嵌入承台深度过大将造成承台底部钢筋上抬，不利于施工，因此本规程仅规定当桩承受水平力较大时(如基坑支护桩等)，桩顶嵌入承台的深度为 100mm，其他情况为 50mm。

7.1.4 受压管桩与承台的连接采用管桩内插筋并浇注管芯混凝土的方法，详细构造可参考《预应力混凝土管桩》03SG409 的有关图纸。

7.1.5 关于单根管桩的接头数量限制问题，考虑到湖北省存在不少深厚软土区，同时兼顾沉桩穿过硬土层时不直接桩的情况，管桩接头规定不宜超过 3 个较为合理。对于允许的 4 节长桩，应考虑适当控制长径比，用调整桩径的办法对端承型桩的长径比进行适当控制。

7.1.6 管桩接头常用的是端板焊接，法兰盘连结已不常用。机械连接施工速度快，但接头制造复杂，造价较高，仅在工期有特殊要求的情况下采用。

7.1.7 目前湖北省全部采用开口型桩尖，几年来虽未发现重大问题，但从机理上分析，目前的作法在某些条件下存在隐患。因此引用 JGJ94 的有关规定，并参考广东省的经验，要求当桩端位于饱和砂类土层或遇水易软化的土层时，应采用封闭桩尖。为保持桩尖的耐久性，管芯尚应浇注 1.2m 厚度的补偿收缩混凝土或水泥砂浆。考虑到钢材在水下的锈蚀速度每年约 0.03mm(单面)，可将闭口板加厚，满足耐久性要求。抗拔桩采用闭口桩尖，便于处理桩身缺陷。封闭桩尖可在桩管内检查桩身缺陷及桩长，便于处理桩身缺陷。

所谓遇水易软化的土层，一般指软质岩层、强风化层、残积土层、非饱和土层、老粘土层、红粘土层及膨胀土层等。

7.1.8 本条说明了闭口桩尖的常用型式。需增加沉桩穿透能力时可采用锥形桩尖，其他情况可选用平底型或十字型。规定桩尖钢板的最小厚度系考虑耐久性要求及沉桩中桩尖的刚度要求。

7.1.9 本条为 JGJ94 的规定，适用于所有桩型。对于管桩，当桩直径为 300~600mm 时，桩直径大

于柱直径 2 倍的情况极少出现。如柱直径或边长不大于 300mm，采用直径 600mm 管桩时，一柱一桩及两桩承台可不设联系梁，但宜对桩顶以下 2m 范围内作混凝土填芯处理。

7.2 桩顶作用效应计算

7.2.1 本条列出的桩顶作用效应计算公式在大多数建筑物桩基的计算中均可适用。对于特殊水平荷载作用下，比如有较大的集中水平力作用等，应进行专门的分析计算。

7.3 桩基竖向承载力计算

7.3.1 本条引用了 JGJ94 的强制性条文。

采用本条单桩承载力表达式，桩基安全度水准与 JGJ94-94 相比，有所提高。这是由于①建筑结构荷载规范的均布活载标准值较前提高了 1/3(办公楼、住宅)，荷载组合系数提高了 17%；②基本组合的荷载分项系数由 1.25 提高至 1.35(以永久荷载控制的情况)；③钢筋和混凝土强度设计值略有降低。

7.3.3 本条规定了考虑桩—土—承台共同作用的复合桩基的设计条件，即采用摩擦型桩时承台底土层应是有一定承载力的稳定土层，以及上部结构的限制条件。所谓稳定土层，指的是正常固结或超固结土、不因周边降水、大面积地面堆载等因素而导致土层下沉的土层、开挖中基底土隆起不大的土层、沉桩中桩顶标高低于地面 3m 以上，基底隆起不大的土层等。

本条规定的计算原则及结果与 JGJ94 相同。但为了与 GB50007、DB42/242、《建筑地基处理技术规范》JGJ79 中的减沉桩、混凝土桩复合地基的计算方法相协调，将承台底的抗力单独计算，不纳入复合基桩单桩承载力之中，同时考虑到承台大小及布桩方式及间距不同，其复合基桩的承载力也不同，计算比较繁琐，因此将承台底土的抗力单列计算。

关于承台效应系数的确定及桩—土—承台共同作用的试验情况及机理参见 JGJ94 的有关条文说明。

按复合桩基设计时，应考虑荷载向桩身转移的可能性，当承台下土层强度不高或存在软弱下卧层等情况时，桩身强度宜按全部竖向荷载作用在桩顶进行计算，也可按单桩岩土阻力提供的单桩极限承载力进行计算。按本规程第 7.6.2 条验算桩身强度时，可按 $R_a \leq (1.4f_c - \sigma_{pc})A_G / 1.35$ 进行验算。

7.4 单桩竖向抗压承载力

7.4.1 考虑到设计等级为乙级的建筑桩基量大面广，还包括了某些 30 层以下的高层建筑，为安全计，统一规定了单桩竖向抗压承载力均采用单桩竖向静载荷试验确定，较 JGJ94 严格。实际上湖北省多年来已在按本条规定执行。

7.4.2 桩侧阻力及桩端阻力的经验值，湖北省按照 JGJ94 及 DB42/242 提供的数据取值。当以桩长控制设计桩端进入持力层深度为 3d 左右时，单桩承载力的估算值与静载试验结果相差不多。

为了充分发挥管桩桩身强度，以压桩力或贯入度控制设计时，桩端土由桩刺入过程的剪切破坏，随桩端进入持力层的深度不断增加，在一定荷载水平下转变为桩端土的压密状态，桩端阻力大幅度增加。此种情况下，按过去的端阻经验值估算单桩承载力已明显不符合实际。

为了修正端阻力经验值，对武汉市的二十余项工程的试桩资料进行分析，分析结果离散性较大，

有些情况实测端阻力与经验值基本相符,有些情况实测端阻力明显大于经验值。离散大的主要影响因素是持力层土性及桩端进入持力层的深度,在目前所掌握有限资料的状况下,对端阻力经验值进行定量修改,时机尚不成熟。

本规程编制中根据宁夏伊斯兰地基工程公司等单位提供的试桩结果,在 DB42/242 规定的基础上,对砂类土、硬塑状态以上粘性土的端阻力特征值上限进行了调整提高,补充了软质岩及硬质岩强风化层的端阻力特征值经验数据。

关于桩侧阻力,本规程编制中仍维持过去沿用的经验值,不作调整。同时参考 JGJ94 提供的侧阻力数据,结合武汉市的试桩结果,补充了残积土及强风化岩侧阻力特征值的经验数据。

为了解决以压桩力或贯入度控制沉桩,且桩端进入低压缩土中较深时端阻力显著增加的问题,表 7.4.2-2 的附注中增加了一条说明,即以压桩力或贯入度控制桩长,且以桩身强度控制设计时,当桩端进入低压缩土层中一定深度,端阻力可按表内数据提高 30%~90%,用以估算试桩的单桩承载力。进入持力层愈深,端阻力提高愈大,进入老粘土超过 6m 时,提高系数取高值。

7.4.3 本条系武汉市经验的总结。以桩身强度控制设计,以压桩力(贯入度)控制桩长的设计理念可以取得显著的经济效益。

应用的条件是桩端持力层为低压缩性土,且其下无软弱下卧层或虽有软弱下卧层,但经验算下卧层强度及变形满足要求,施工中桩端以下持力层厚度有保证时。如前述,当桩端进入低压缩土一定深度后,桩端土由剪切破坏逐渐转化为压密状态,端阻力可大幅度提高,从而使单桩承载力显著高于估算值。经验表明,当满足表 7.4.3 要求的压桩力后,一般情况下单桩承载力可达到预期值。压桩力或贯入度必须通过静载试验确定,试桩的桩段配置应留有余地。在场地土可能产生负摩阻力时,桩身强度的计算应考虑负摩阻力的影响。

以桩身强度控制设计的短桩,桩端持力层的强度问题,见本规程第 7.5.1 条的条文说明。

当桩身强度控制设计时,压桩力及锤击力很大,易损坏桩身。施工中管桩有时需穿过某一硬土层,可适当提高压桩力,此时压桩力不宜大于容许压桩力的 1.1 倍。

7.5 特殊条件下桩基竖向承载力验算

7.5.1 本条引用了 JGJ94 的规定,这里将群桩假想实体基础外围的侧阻取极限侧阻,当桩长较长时,桩端平面的附加应力已很小,加上桩端持力层的应力扩散作用,下卧层的强度一般均可满足要求。因此 GB50007 中已取消了下卧层强度计算的内容,而以桩基沉降计算控制。

考虑到湖北地区深厚淤泥(其下即为硬土层)场地较广泛地采用了管桩,其假想实体外围侧阻很小,有的甚至产生负摩阻,当以桩身强度控制设计时,桩端应力水平很高,当桩端存在软弱下卧层时,为防止下卧层挤出破坏,进行下卧层强度验算是必要的。

验算时注意扣除淤泥、欠固结土、可液化土、自重湿陷性土等不稳定土层的厚度。

本条说明中表 7.5.1 列出了 PHC-500-125 管桩在几种不同条件组合下桩端平面的附加应力值。计算结果可以看出,以桩身强度控制设计时(即单桩承载力特征值为 2500kN 时),按式(7.5.1-2)计算的桩端平面附加应力值很大,当桩侧土软弱时($q_{sik}=20\text{kPa}$),4 桩承台 15m 桩长时高达 1564kPa;当桩侧土很好时($q_{sik}=60\text{kPa}$)也达 770kPa。如此大的桩端附加应力对持力层的厚度及下卧层承载力要求较高。因此,本规程未采用 JGJ94 送审稿中将下卧层承载力深度修正系数定为 1 的规定,而是按 GB50007 的规定进行修正,否则,很多情况下卧层承载力将满足不了要求。

表 7.5.1 的计算还反映了一个问题,即桩较短,桩周土软弱的情况下,桩端的附加应力远远超过

了桩端持力层经修正后的承载力特征值，这是小直径桩提供高承载力的特殊情况形成的新问题。如果不予重视，在地震等因素的影响下有可能造成持力层的剪切破坏或桩的刺入破坏。因此设计中尚应考虑桩端持力层的强度问题，对桩身强度控制设计的短桩基础，考虑群桩的端阻效应及桩端持力层的强度储备等有利因素，当桩端附加应力大于持力层经修正后(宽度修正按 $b=6\text{m}$ 计)的承载力特征值的 1.5 倍时，宜采取加大桩距、加大桩长或加多桩数的措施，确保在地震力等特殊荷载作用下桩基的安全。

表 7.5.1-1 按实体基础计算桩端平面处的附加应力(4 桩承台)

荷载	桩群外缘矩形面积的周长(m)			桩群外缘矩形的面积(m ²)			桩侧极限摩阻力 加权平均值	桩长	不同桩距对应的桩底附加应力(kPa)		
	$U_{3.5D}=2(A_{3.5D}+B_{3.5D})$	$U_{4.5D}=2(A_{4.5D}+B_{4.5D})$	$U_{6D}=2(A_{6D}+B_{6D})$	$A_{3.5D} \times B_{3.5D}$	$A_{4.5D} \times B_{4.5D}$	$A_{6D} \times B_{6D}$			$\sigma_{3.5D}$	$\sigma_{4.5D}$	σ_{6D}
F+G(kN)	9	11	14	5.1	7.6	12.3	$\bar{q}_{sik}$ (kPa)	L(m)			
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	15	583.3	332.2	150.4
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	20	451.0	223.7	65.0
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	30	186.3	6.6	-105.7
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	40	-78.4	-210.5	-276.4
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	15	384.8	169.4	22.4
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	20	186.3	6.6	-105.7
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	30	-210.8	-319.1	-361.8
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	40	-607.8	-644.7	-617.9
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	15	-210.8	-319.1	-361.8
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	20	-607.8	-644.7	-617.9
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	30	-1402.0	-1296.1	-1130.1
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	40	-2196.1	-1947.4	-1642.3
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	15	-607.8	-644.7	-617.9
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	20	-1137.3	-1078.9	-959.3
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	30	-2196.1	-1947.4	-1642.3
5000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	40	-3254.9	-2815.8	-2325.2
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	15	1563.7	990.1	556.9
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	20	1431.4	881.6	471.5
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	30	1166.7	664.5	300.8
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	20	40	902.0	447.4	130.1
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	15	1365.2	827.3	428.9
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	20	1166.7	664.5	300.8
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	30	769.6	338.8	44.7
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	30	40	372.5	13.2	-211.4
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	15	769.6	338.8	44.7
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	20	372.5	13.2	-211.4
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	30	-421.6	-638.2	-723.6
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	60	40	-1215.7	-1289.5	-1235.8
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	15	372.5	13.2	-211.4
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	20	-156.9	-421.1	-552.8
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	30	-1215.7	-1289.5	-1235.8
10000	9	11	14	5.1	7.6	12.3	80	40	-2274.5	-2157.9	-1918.7

说明：统一取桩径为 500，桩间距分别取 3.5D、4.5D 和 6D，单桩竖向承载力特征值按 1250kN 及 2500kN 分别计算。

表 7.5.1-2 按实体基础计算桩端平面处的附加应力(9 桩承台)

荷载	桩群外缘矩形面积的周长(m)			桩群外缘矩形的面积(m ²)			桩侧极限摩阻力 加权平均值	桩长	不同桩距对应的桩底附加应力(kPa)		
F+G(kN)	$U_{3.5D}=2(A_{3.5D}+B_{3.5D})$	$U_{4.5D}=2(A_{4.5D}+B_{4.5D})$	$U_{6D}=2(A_{6D}+B_{6D})$	$A_{3.5D} \times B_{3.5D}$	$A_{4.5D} \times B_{4.5D}$	$A_{6D} \times B_{6D}$	$\bar{q}_{sik}$ (kPa)	L(m)	$\sigma_{3.5D}$	$\sigma_{4.5D}$	σ_{6D}
11250	16	20	26	16	25	42.3	20	15	478.1	270.0	127.7
11250	16	20	26	16	25	42.3	20	20	403.1	210.0	81.6
11250	16	20	26	16	25	42.3	20	30	253.1	90.0	-10.6
11250	16	20	26	16	25	42.3	20	40	103.1	-30.0	-102.8
11250	16	20	26	16	25	42.3	30	15	365.6	180.0	58.5
11250	16	20	26	16	25	42.3	30	20	253.1	90.0	-10.6
11250	16	20	26	16	25	42.3	30	30	28.1	-90.0	-148.9
11250	16	20	26	16	25	42.3	30	40	-196.9	-270.0	-287.2
11250	16	20	26	16	25	42.3	60	15	28.1	-90.0	-148.9
11250	16	20	26	16	25	42.3	60	20	-196.9	-270.0	-287.2
11250	16	20	26	16	25	42.3	60	30	-646.9	-630.0	-563.8
11250	16	20	26	16	25	42.3	60	40	-1096.9	-990.0	-840.4
11250	16	20	26	16	25	42.3	80	15	-196.9	-270.0	-287.2
11250	16	20	26	16	25	42.3	80	20	-496.9	-510.0	-471.6
11250	16	20	26	16	25	42.3	80	30	-1096.9	-990.0	-840.4
11250	16	20	26	16	25	42.3	80	40	-1696.9	-1470.0	-1209.2
22500	16	20	26	16	25	42.3	20	15	1181.3	720.0	393.6
22500	16	20	26	16	25	42.3	20	20	1106.3	660.0	347.5
22500	16	20	26	16	25	42.3	20	30	956.3	540.0	255.3
22500	16	20	26	16	25	42.3	20	40	806.3	420.0	163.1
22500	16	20	26	16	25	42.3	30	15	1068.8	630.0	324.5
22500	16	20	26	16	25	42.3	30	20	956.3	540.0	255.3
22500	16	20	26	16	25	42.3	30	30	731.3	360.0	117.0
22500	16	20	26	16	25	42.3	30	40	506.3	180.0	-21.3
22500	16	20	26	16	25	42.3	60	15	731.3	360.0	117.0
22500	16	20	26	16	25	42.3	60	20	506.3	180.0	-21.3
22500	16	20	26	16	25	42.3	60	30	56.3	-180.0	-297.9
22500	16	20	26	16	25	42.3	60	40	-393.8	-540.0	-574.5
22500	16	20	26	16	25	42.3	80	15	506.3	180.0	-21.3
22500	16	20	26	16	25	42.3	80	20	206.3	-60.0	-205.7
22500	16	20	26	16	25	42.3	80	30	-393.8	-540.0	-574.5
22500	16	20	26	16	25	42.3	80	40	-993.8	-1020.0	-943.3

表 7.5.1-3 按实体基础计算桩端平面处的附加应力(25 桩承台)

荷载	桩群外缘矩形面积的周长(m)			桩群外缘矩形的面积(m ²)			桩侧极限摩阻力 加权平均值	桩长	不同桩距对应的桩底附加应力(kPa)		
F+G(kN)	$U_{3.5D}=2(A_{3.5D}+B_{3.5D})$	$U_{4.5D}=2(A_{4.5D}+B_{4.5D})$	$U_{6D}=2(A_{6D}+B_{6D})$	$A_{3.5D} \times B_{3.5D}$	$A_{4.5D} \times B_{4.5D}$	$A_{6D} \times B_{6D}$	$\bar{q}_{sik}$ (kPa)	L(m)	$\sigma_{3.5D}$	$\sigma_{4.5D}$	σ_{6D}
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	15	435.2	251.4	128.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	20	395.2	219.8	104.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	30	315.3	156.7	56.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	40	235.3	93.6	8.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	15	375.2	204.0	92.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	20	315.3	156.7	56.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	30	195.4	62.0	-16.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	40	75.5	-32.7	-88.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	15	195.4	62.0	-16.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	20	75.5	-32.7	-88.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	30	-164.3	-222.0	-231.9
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	40	-404.1	-411.4	-375.9
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	15	75.5	-32.7	-88.0
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	20	-84.4	-158.9	-183.9
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	30	-404.1	-411.4	-375.9
31250	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	40	-723.8	-663.9	-567.8
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	15	990.2	597.5	327.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	20	950.3	565.9	303.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	30	870.3	502.8	255.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	20	40	790.4	439.6	207.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	15	930.3	550.1	291.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	20	870.3	502.8	255.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	30	750.4	408.1	183.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	30	40	630.6	313.4	112.0
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	15	750.4	408.1	183.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	20	630.6	313.4	112.0
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	30	390.8	124.0	-32.0
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	60	40	151.0	-65.3	-175.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	15	630.6	313.4	112.0
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	20	470.7	187.2	16.0
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	30	151.0	-65.3	-175.9
62500	30	38	50	56.3	90.3	156.3	80	40	-168.7	-317.8	-367.9

表 7.5.1-4 按实体基础计算桩端平面处的附加应力(841 桩承台)

荷载	桩群外缘矩形面积的周长(m)			桩群外缘矩形的面积(m ²)			桩侧极限摩阻力 加权平均值	桩长	不同桩距对应的桩底附加应力(kPa)		
F+G(kN)	$U_{3.5D}=2(A_{3.5D}+B_{3.5D})$	$U_{4.5D}=2(A_{4.5D}+B_{4.5D})$	$U_{6D}=2(A_{6D}+B_{6D})$	$A_{3.5D} \times B_{3.5D}$	$A_{4.5D} \times B_{4.5D}$	$A_{6D} \times B_{6D}$	$\bar{q}_{sik}$ (kPa)	L(m)	$\sigma_{3.5D}$	$\sigma_{4.5D}$	σ_{6D}
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	15	410.9	246.6	136.6
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	20	404.8	241.8	133.0
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	30	392.7	232.4	125.9
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	40	380.6	222.9	118.8
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	15	401.8	239.5	131.3
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	20	392.7	232.4	125.9
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	30	374.5	218.2	115.3
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	40	356.3	204.0	104.6
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	15	374.5	218.2	115.3
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	20	356.3	204.0	104.6
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	30	320.0	175.7	83.3
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	40	283.6	147.3	62.0
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	15	356.3	204.0	104.6
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	20	332.1	185.1	90.4
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	30	283.6	147.3	62.0
1051250	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	40	235.1	109.5	33.6
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	15	840.0	507.3	283.8
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	20	833.9	502.6	280.3
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	30	821.8	493.1	273.2
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	20	40	809.7	483.7	266.1
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	15	830.9	500.2	278.5
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	20	821.8	493.1	273.2
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	30	803.6	478.9	262.5
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	30	40	785.4	464.8	251.9
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	15	803.6	478.9	262.5
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	20	785.4	464.8	251.9
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	30	749.1	436.4	230.6
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	60	40	712.7	408.1	209.2
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	15	785.4	464.8	251.9
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	20	761.2	445.9	237.7
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	30	712.7	408.1	209.2
2102500	198	254	338	2450	4032	7140.3	80	40	664.2	370.3	180.8

7.5.2~7.5.3 本条引用了 JGJ94 中的强制性条文。在湖北省由于未合理考虑负摩阻力而导致的事故时有发生，应予重视。

负摩阻力的计算很复杂，目前的计算理论尚不成熟，按照 JGJ94 的相关规定进行设计计算时，参数取值有一定困难。采用有效应力法进行计算，是一个可行的方法，但孔隙水压力的测试有困难，因此规范的操作性有些问题。

在可能产生负摩阻力的场地，桩基设计时可先进行单桩静载试验，将试验得到的单桩承载力减去软土层及以上土层的正摩阻力(查表计算)，然后根据桩端持力层性质，按 JGJ94 表 5.4.4-2 估计中性点深度，将试验得出的单桩承载力再减去中性点以上桩的负侧阻(为安全计可查正摩阻力表)，最后得到单桩的实际承载力。试桩设计中考虑上述因素，估计桩长、压桩力或贯入度。

7.5.4 管桩承受上拔力时，桩身强度、抗裂计算及构造方面均存在许多问题，因此本规程专门对抗拔桩的设计、构造进行了分析研究，提出了有效可行的措施。承受拔力的桩基，按 JGJ94 的规定，应同时验算群桩基础及其基桩的抗拔承载力。

经计算，正方形布桩 16 桩以下承台及承台梁下单排、双排桩，当桩中心距为 $3.5D$ 时，群桩实体周边的边长大于各基桩周边长度之和，即不存在群桩抗拔控制计算的情况。表 7.5.4-1 列出正方形布桩不同承台桩数时群桩实体周边边长与各基桩周边长度之和相等时的 n 值（ n 为桩中心距与桩径的比值）：

表 7.5.4-1 不同桩数时临界 n 值								
承台桩数	2	4	6	9	12	16	单排桩(50根)	双排桩 (每排 50 根)
n	1.14	2.14	2.47	3.03	3.37	3.86	1.56	3.14
注：当 n 大于表列数据时，即不存在群桩抗拔控制设计的情况。								

群桩抗拔控制设计时，JGJ94 规定了抗拔力应考虑群桩各基桩自重以及所包围的土重，按最不利情况考虑，即土的重度取有效重度(10kN/m^3)，在正方形布桩的情况下，当单桩抗拔承载力特征值之和等于群桩抗拔承载力特征值时，不同情况下临界的 n 值见表 7.5.4-2。

表 7.5.4-2 不同情况下的临界 n 值

桩径为 300mm 时的 n 值									
q'_{sia} (kPa) \ 桩数	16	25	36	49	100	225	400	900	1600
10	2.44	2.60	2.71	2.79	2.95	3.08	3.15	3.21	3.25
20	2.86	3.13	3.33	3.49	3.80	4.06	4.20	4.35	4.43
30	3.08	3.43	3.70	3.91	4.35	4.75	4.96	5.19	5.30
40	3.22	3.63	3.95	4.21	4.77	5.28	5.56	5.87	6.03
桩径为 400mm 时的 n 值									
q'_{sia} (kPa) \ 桩数	16	25	36	49	100	225	400	900	1600
10	2.26	2.38	2.47	2.53	2.65	2.74	2.80	2.84	2.86
20	2.69	2.91	3.07	3.19	3.43	3.62	3.73	3.84	3.89
30	2.93	3.22	3.44	3.61	3.95	4.25	4.41	4.58	4.67
40	3.08	3.43	3.70	3.91	4.35	4.75	4.96	5.19	5.30
桩径为 500mm 时的 n 值									
q'_{sia} (kPa) \ 桩数	16	25	36	49	100	225	400	900	1600
10	2.12	2.22	2.29	2.34	2.43	2.51	2.54	2.58	2.60
20	2.55	2.74	2.87	2.97	3.16	3.31	3.40	3.48	3.52
30	2.80	3.05	3.23	3.38	3.66	3.90	4.02	4.15	4.22
40	2.97	3.27	3.50	3.68	4.04	4.36	4.53	4.71	4.80
桩径为 600mm 时的 n 值									
q'_{sia} (kPa) \ 桩数	16	25	36	49	100	225	400	900	1600
10	2.01	2.10	2.15	2.19	2.27	2.33	2.36	2.39	2.41
20	2.44	2.60	2.71	2.79	2.95	3.08	3.15	3.21	3.25
30	2.69	2.91	3.07	3.19	3.43	3.62	3.73	3.84	3.89
40	2.86	3.13	3.33	3.49	3.80	4.06	4.20	4.35	4.43
注: q'_{sia} 为桩侧土侧阻力特征值的加权平均值。									

从上表情况分析, 通常情况下当桩距不小于 $3.5D$ 时, 大多可不考虑群桩抗拔效应。

当管桩作为抗浮桩使用, 基底土为不透水层时, 由于水的浮力与土面反作用力相平衡, 不可能发生桩间土整体拔出的情况, 因此, 不需考虑群桩抗拔效应。

7.5.5 本条规定了单桩竖向抗拔承载力的确定方法。由于影响单桩抗拔承载力的因素较多, 不能依靠计算或间接方法确定, 因此, 本规程规定单桩竖向抗拔承载力均应通过单桩竖向抗拔静载试验确定。

管桩竖向抗拔承载力由三个要素控制, 一是桩的侧阻控制, 二是桩身混凝土抗裂控制, 三是桩身

竖向钢筋的强度和接头强度的控制。三者必须同时得到满足。经计算,管桩接头焊接强度不控制设计。式(7.5.5-2)表示管桩预应力钢筋强度的控制条件。

考虑到抗拔桩桩身有效预压应力的可靠性、桩身的耐久性等,参照 GB50007 关于岩石锚杆的计算方法,将单桩上拔力按不同设计使用年限乘以相应的增大系数,增加了管桩抗拔的可靠性和耐久性。

7.5.6 由于管桩混凝土保护层较薄,且钢筋直径很小,钢筋耐腐蚀能力较差,因此抗拔桩应采用 AB 型、B 型或 C 型 PHC、PC 桩,当抗拔力很小时也可采用 A 型桩。

在侵蚀性环境内,抗拔管桩的专门设计指根据侵蚀介质的性质,配制防腐蚀的特种混凝土,或采取加厚管壁、加厚混凝土保护层、灌芯、管外壁防护等有效措施。

7.5.8 本条推荐了管桩桩顶不需截桩或接桩时的构造连结要求。此种情况下要求沉桩施工时严格测量控制桩顶标高,对于以压桩力或贯入度控制的情况则很难做好桩顶标高的控制。

7.5.9 本条针对管桩施工中常见的桩顶需截桩时的情况,推荐了截桩后桩顶构造连结措施。对于这种情况,尚未见到合理、可行的处理方法,目前常采用管桩内孔插筋浇注混凝土的连结方式。此种方法存在一些问题,一是灌芯混凝土与管内壁的粘结强度不可靠,二是灌芯混凝土的深度不能确定,三是管桩桩身抗裂计算缺乏依据。

针对上述问题,本规程要求抗拔桩截桩时应保留预应力钢筋,将其直接锚入承台,同时管芯内亦应浇注灌芯混凝土。考虑到截桩后桩顶以下一定区段预应力损失,要求在预应力损失区段外包混凝土并配置构造钢筋。

预应力损失区段长度的计算按 GB50010 规定的先张法预应力传递长度的计算公式进行计算。鉴于管桩预应力张拉为端板整体张拉,放张时端板对混凝土施加了部分预应力,因此,管桩内预应力兼有先张、后张两种性质,完全按先张法计算损失区段不尽合理。先张法计算的预应力损失长度大多在 200mm 左右,为安全计将管桩外包混凝土的长度定为不少于 1.5 倍 l_{er} 且不小于 300mm。

抗拔桩如发现预应力筋锚固长度不足时,可保留端板以增大锚固力。当端板的保留造成承台钢筋布置困难时,可采取局部加厚承台的方法予以解决。

抗拔桩的接头焊缝应加厚,较一般抗压桩一桩多焊一遍,使焊缝突出端板周边不少于 5mm。

7.6 桩身承载力与裂缝控制验算

7.6.1~7.6.2 JGJ94 规定,预制桩的工作条件系数取 0.85,且当桩顶以下 5D 范围内螺旋箍筋的间距小于 100mm 时,受压桩尚可计及纵向主筋的抗压作用。

实际工程中,管桩大多采用打入或压入的方式沉桩,此时以打击力及压桩力控制设计(施工中有超压的可能)。实践证明,桩身强度控制设计时,必须对桩身强度有较大折减,否则,在沉桩施工中桩的破损率过大,导致质量事故。同时考虑高强度混凝土桩身破坏为脆性破坏,为保证地震力作用下桩身的安全,也应对桩身强度进行折减。GB50007 及 DB42/242 中取工作条件系数为 0.75 即桩身承载力应满足下式要求:

$$Q \leq 0.75 f_c A_G$$

$$03SG409 \text{ 图集中规定 } Q \leq 0.7 f_c A_G$$

按上式计算,允许采用的单桩桩身承载力特征值偏高。我省实际工程中经常出现桩身破坏或桩头受损的情况,II、III类桩偏多。同时计算中未考虑桩身混凝土有效预应力的影响,计算结果也不合理。

广东省引入了美国、日本的规定，即单桩允许承载力(相当于承载力特征值)应满足下式要求：

$$R_a \leq 0.25(f_{cu,k} - \sigma_{pc})A_G$$

式中 $f_{cu,k}$ 为桩身混凝土的立方体抗压强度，湖北省常用的 PHC 桩的桩身混凝土有效预应力值为

3.6~10.83MPa(按 7m 桩长计算，如果按最大桩长计算相差不大)，经上式换算可得：

$$Q \leq (0.651 \sim 0.719)f_c A_G$$

$$R_a \leq (0.482 \sim 0.533)f_c A_G$$

根据工程实践经验，将允许的单桩承载力特征值再乘以 0.9 的折减系数较为合适，即：

$$R_a \leq (0.434 \sim 0.480)f_c A_G$$

同理，PC 桩可换算成下式：

$$Q \leq (0.600 \sim 0.692)f_c A_G$$

$$R_a \leq (0.448 \sim 0.513)f_c A_G$$

$$\text{折减后 } R_a \leq (0.403 \sim 0.462)f_c A_G$$

PTC 桩可换算成下式：

$$Q \leq (0.683 \sim 0.695)f_c A_G$$

$$R_a \leq (0.506 \sim 0.515)f_c A_G$$

$$\text{折减后 } R_a \leq (0.455 \sim 0.464)f_c A_G$$

以上分析可以看出，在日本、美国及广东省的规定中，管桩桩身抗压强度的工作条件系数在 0.600~0.719 之间，乘以 0.9 折减后工作条件系数在 0.540 至 0.647 之间。均小于国家标准及湖北省地方标准 0.75 的规定，工作条件系数降低的主要因素是混凝土有效预应力的影响。

考虑有效预压应力影响，以混凝土立方体抗压强度的表达式：

$$Q \leq \rho_c A_G (f_{cu,k} - \sigma_{pc}) \text{ 即 } Q \leq 0.25 \times 1.35 \times 0.9 A_G (f_{cu,k} - \sigma_{pc}) \quad Q \leq 0.3 A_G (f_{cu,k} - \sigma_{pc})$$

$$R_a \leq 0.225 A_G (f_{cu,k} - \sigma_{pc})$$

ρ_c 取 0.3。本规程附录 A 中允许采用的单桩承载力特征值即由上式计算求得。

目前复合载体桩的扩大头以上的桩身有植入预应力管桩的先例，因此，本规程规定植桩成桩时管桩的工作条件系数可取 0.4。

7.6.3~7.6.4 施工正常的桩尚未见到桩身压屈的先例。但理论上分析，高桩承台或桩周土可液化时的端承型桩有可能发生桩身压屈的情况，为安全计，仍作出了上述条件下应进行桩身压屈验算的规定。考虑到湖北省很少见到软土承载力特征值小于 25kPa 的情况，因此取消了桩周土为淤泥时需要验算桩身压屈的要求。

7.6.5 本条规定了管桩裂缝控制的要求，考虑管桩混凝土保护层较薄，钢筋直径小，为保证其耐久性，对桩身裂缝的控制从严规定。即除临时性结构外，管桩桩身均不允许出现裂缝。

在五类环境中裂缝控制等级为一级，同时还应按相关规范采取措施，如配制耐腐蚀混凝土，进行防护等。

7.6.6 本条引用了 GB50010 中的规定。对临时性结构，允许的最大裂缝按 GB50010 的要求定为 0.3mm。

7.6.7 在桩身截面的抗震验算时，承载力抗震调整系数相关规范未作具体规定。本规程参照 GB50011 的规定，对受压桩按轴压比不小于 0.15 的偏压柱取 $\gamma_{RE}=0.8$ ，对抗拔桩及受水平力的桩按受剪、偏拉构件取 $\gamma_{RE}=0.85$ 。

7.6.8 单桩在水平力作用下桩身受弯、受剪承载力的验算比较复杂。通过单桩水平载荷试验可以检验桩身抗弯、抗剪及抗裂性能是否满足设计要求，因此，对受水平力较大的桩，还是应当采用水平荷载试验进行检验。根据云南省《预应力混凝土管桩基础技术规程》编制组进行的管桩抗弯和抗剪试验结果，说明桩身强度由桩身抗弯承载力控制，抗剪承载力不控制设计。我省为 6~7 度抗震设防区，一般建筑物水平荷载不大，不必进行桩身水平承载力验算。

正常情况下单桩水平承载力由桩顶位移控制指的是管桩周边土质大多不是坚硬土层的情况，此时单桩水平承载力特征值可按 JGJ94 中以桩顶位移控制时的公式计算。

7.7 桩基沉降计算

7.7.1~7.7.4 对桩基沉降变形的指标，本规程引入了局部挠曲的概念。GB50007 及 JGJ94 均采用了沿用多年的局部倾斜概念。局部倾斜与整体倾斜两个共存的指标的要求不同，在某些情况下形成矛盾，引入局部挠曲指标后，概念合理，避免矛盾。局部挠曲的计算方法详见湖北省地方标准 DB42/242 的有关规定。

随着我国经济的发展，对建筑物绝对沉降的要求应当从严，特别是商品房，沉降过大将引起纠纷。因此按湖北省的规定，在表 7.7.4 中增加了多层及高层建筑基础中点计算沉降量不大于 200mm 的要求，并以此控制设计。

实际工程中管桩基础沉降量均较小，一般均在 50mm 以内，仅当采用摩擦桩时，管桩基础的沉降才可能接近或超过表 7.7.4 中的沉降限值。

7.7.6 对于桩距小于和等于 6 倍桩径的群桩基础，其沉降计算方法大体分为三类。第一类是按等代实体深基础计算模型，用弹性半空间表面荷载下 Boussinesq 应力解计算附加应力，用分层总和法计算沉降。第二类是以半无限弹性体内部集中力作用下的 Mindlin 解求得群桩桩端平面下各单桩附加应力之和，再按分层总和法计算沉降。GB50007 及 DB42/242 推荐了上述两种方法。

考虑到上述两种方法存在的一些缺陷，JGJ94 提出了等效作用分层总和法计算桩基沉降的方法。其实质是运用 Mindlin 位移解求得的匀质土中不同长径比、距径比、桩数、承台长宽比条件下刚性承台沉降，用以修正运用 Boussinesq 解求得的等代实体深基础沉降，将两者沉降计算值之比称谓“等效系数”。用以完善等代实体深基础计算模式不能考虑桩的长径比、桩距、桩数及承台尺寸等因素的缺陷。

根据武汉市管桩基础沉降观测结果表明，建筑物沉降较小，因此将 JGJ94 中规定的挤土效应系数由 1.8 改为 1.0，即沉降计算中不考虑挤土效应。

应当指出，无论采用哪一种沉降计算方法，均有不小的误差，还得依靠沉降经验系数予以调整。多本规范提出的经验系数在 0.3 至 1.2 之间，可见计算结果是否符合实际，经验系数的影响为主要因素。因此，本规程同时推荐了上述三种方法，实际工程中可进行计算比较，以便分析。

7.7.7 对于单桩、单排桩、桩中心距大于 6d 的疏桩，沉降计算模式与等代深基础不符，为解决这个问题，本条引用了 JGJ94 的有关规定，详见 JGJ94 中的相关内容。

当有单桩竖向抗压静载荷试验的资料时，对于不考虑承台底土抗力的情况，静载试验单桩承载力特征值荷载水平下的沉降量虽小于桩基最终沉降量，因相差不大，可近似代表桩基最终沉降量。

7.8 桩基水平承载力与位移计算

7.8.2 桩基水平承载力的确定是一件复杂的事情，目前比较可靠的方法仍为单桩水平静载试验或带承台桩的水平载荷试验。本规程规定除临时结构外，所有受水平荷载建筑物的基桩，其水平承载力均应通过单桩水平静载试验确定，必要时可进行带承台桩的水平载荷试验。所谓受水平荷载的建筑物系指受特殊水平荷载作用的建筑物，比如建筑物上固定缆索，山区建筑基桩兼作挡土使用者等等。湖北地区抗震设防等级为 6~7 度，基本风压 $0.2\sim 0.5\text{kN/m}^2$ ，由风力或地震产生的水平剪力不大，一般的多层建筑及高层建筑物均不考虑剪力对基桩的影响，也不需要进行基桩水平承载力的验算和水平承载力试验。

单桩水平静载试验及带承台桩的水平静载试验的方法，DB42/269 中已有明确的规定。如何根据试验结果确定单桩承载力特征值，本条引用了 JGJ94 中的有关规定。一般情况下可取地面处桩水平位移为 10mm 时所对应的荷载为单桩水平承载力特征值，对于水平位移敏感的建筑物可取 6mm 或者更小的位移所对应的荷载。附录 B 列出了几种地质条件下，桩顶位移为 10mm 所对应的单桩水平承载力特征值计算结果，可供查阅。受水平力的桩，一般应按铰接考虑，并应进行桩身抗裂、抗弯验算。

永久荷载控制的单桩水平承载力，指基桩兼有挡土等功能时的情况，单桩水平承载力特征值尚应将单桩水平承载力特征值乘以 0.8 的折减系数，以保安全。

7.8.4 对于受特殊水平荷载作用的带地下室的高大建筑物、高耸建筑物，应当考虑地下室侧墙、承台、桩群和土的共同作用，充分利用侧墙、承台的侧向抗力，确保基槽回填土的质量，增强建筑物抵抗水平荷载的能力。其计算方法见 JGJ94。

7.8.5 近年来不少工程的工程桩采用管桩，其基坑支护桩也采用管桩，施工较为方便。管桩作支护桩使用时需要确定设计弯矩，对临时性的支护桩，桩身允许开裂，但其强度及变形应保证一定的安全度，附录 G 给出了常用型号的管桩抗裂弯矩、设计弯矩及极限弯矩的计算结果，可供选用。

本规程 5.9 桩身强度计算中，调整了 GB50010 抗弯计算中的 α_l 值，从而计算出的极限弯矩值减小，在按 GB50010 计算弯矩设计值时， α_l 值没有调整，计算出的弯矩设计值偏大。抗裂弯矩及极限弯矩的检验值来自 GB13476 的规定，该规定参考了日本的数据，有的数据规律性稍差。

由于上述原因，表 G-1 及表 G-3 中 M_u/M 及 M'_u/M 的值偏小， M'_u/M 有的数据不尽合理。

8 沉桩施工

8.1 一般规定

8.1.1 管桩基础施工准备工作的几点说明：

1 调查并处理场地及毗邻区域内的地上及地下管线、建筑物、障碍物等非常重要。对这些建筑物及设施的类型及结构状况进行分析,有利于沉桩施工的安全和质量,同时又可使有关设施得到保护。由于地质资料不详或对邻近建筑物和设施没有充分重视而造成的基础工程质量事故或对邻近建筑物与设施的破坏,时有发生。

2 施工场地的回填质量是保证沉桩质量的必要条件之一。很多管桩工程的实践表明,由于表层地基土的承载力不够、含水量较大、排水不通畅等原因容易造成桩机沉陷和难以行走,这些现象对桩位和已施工桩产生不良影响,甚至需要采取补桩、增大承台等措施。

8.1.2 施工前尽可能准确掌握必要的资料,便于指导施工。设计图纸和文件,施工组织设计或施工方案是指导施工的必要文件。图纸会审,一般由施工、设计、业主、监理、质监等有关单位共同进行,由组织单位将会审中发现的问题及解决办法详细记录并整理成会审纪要作为设计文件的补充,完工后连同设计文件列入工程档案。

8.1.3 减少振动和挤土影响的主要措施有:①采用开口型桩尖;②合理安排沉桩顺序。沉桩顺序是施工方案的重要内容,以往施工单位不注意合理沉桩顺序而造成事故的事例很多,如桩位偏移、桩身上浮,地面隆起过多,邻近建筑物破坏等。③采用预钻孔引桩;④设置袋装砂井或塑料排水板;以消除部分孔隙水压力,减少挤土效应。袋装砂井直径一般为 70~80mm,间距为 1.0~1.5m,塑料排水板与袋装砂井的深度应根据具体情况确定。⑤设置隔离桩、隔离墙;⑥开挖地面减震沟,沟宽 0.5~0.8m,深度按场区土质情况以边坡能自立为准。⑦限制沉桩速率等。具体采用哪种措施要根据工程实际条件、被影响建筑物的承受能力综合确定,也可以同时采取几种措施。但即使采取了措施,也要加强监测,以达到预期效果。

8.1.4 深基坑有围护结构时,一般不宜先开挖基坑然后再打工程桩,否则会出现下列现象:一是会挤压围护结构,严重的可以将围护结构挤倾斜甚至破坏,降低甚至破坏基坑帷幕的挡土止水效果;二是会使基坑土体内的孔隙水压力陡增且很难消除,待日后继续开挖基坑时,先挖部分的土坑就成为超孔隙水压力释放的去向,导致基坑四周土体及基桩向基坑倾斜;三是容易导致桩体上浮等质量事故。

8.1.5 管桩工程的基坑开挖是地基与基础施工中一项很重要的工作,为指导土方开挖,需制定详细可行的土方开挖方案。土方开挖要分层,由于土方开挖未分层造成管桩偏移甚至桩身断裂事故时有发生,为防止挖土机械对管桩的碾压和碰撞而破坏桩体,本条特别强调在桩顶以上 1.0m 内的土方,应用人工开挖方式。

8.1.9 泥土、杂物等进入管桩内孔后,对管桩内孔插筋浇注混凝土不利,同时也影响对管桩内孔内窥检查工作。当桩内孔需作灌芯处理时,也带来孔内清理工作的困难。管桩上端内孔的阻隔装置,除泡沫塑料球、袋装矿棉球外,也可采用其他可回收材料。

8.2 管桩的吊运及堆放

8.2.1 管桩吊运有如下三点说明：

1 陆地运输采用大平板汽车,车上设置固定支撑点,装运时将管桩绑扎牢固并塞紧或用专用架

放置可有效避免运输时的剧烈碰撞。

2 单节管桩桩长较短（小于等于 13m）且施加了预压应力，允许用专用吊钩钩住管桩两端内壁直接进行水平起吊。但此方法不适用于接长后的桩，吊运接长后的桩仍应进行吊点设计及桩身强度验算。

3 管桩运至施工现场的检查验收，一般由施工单位和建设（或监理）单位共同派人进行。

8.2.2 取桩方法有吊机及拖拉两种。拖拉取桩是指利用钢丝绳拉管桩的一端，让管桩另一端拖地，然后通过桩架上的卷扬机拉动钢丝绳取桩的一种方法。与吊机取桩相比，可不用配备取桩吊机，但拖拉取桩容易损伤桩身，所以当管桩叠堆超过 2 层时，严禁拖拉取桩。

8.3 施工机具

8.3.1 柴油打桩机是指采用柴油锤的打桩设备，由桩架、行走机构及柴油锤构成。打桩架有万能打桩架、三点支撑桅杆式打桩架和起重机桅杆式打桩架等形式，也有采用落锤式打桩机的桩架改装而成的，但这种改装应保证桩架的稳定性。行走机构分为走管式、轨道式、液压步履式及履带式四种方式。三点支撑履带自行式柴油打桩机行走调头方便，垂直度调整快捷，打桩效率高，应优先选用。柴油锤与打桩架不匹配时，容易发生倒架事故。打桩架与锤的匹配要求，一般在打桩机说明书中列出。

静压法是利用静压桩机自重通过液压系统将桩段压入地基土中，压桩方式有顶压式和抱压式。

锤击法与静压法各有其适用范围，选用哪一种方法进行施工，应根据场区地质条件、设计要求、设备能力等确定。

8.3.2 柴油锤爆发力强，锤击能量大，工效高，锤击作用时间长，落距可随桩阻力的大小自动调整，人为掺杂的因素少，比较适合于管桩的施打。柴油锤分导杆式和筒式两种，导杆式柴油锤由于性能较筒式柴油锤差，所以逐渐淘汰。近几年生产的筒式柴油锤，供油油门分为 4 档，1 档最小，4 档最大，打桩一般启用 2~3 档。“重锤低击”是指相同的锤击能量时优先采用重的锤、小的落距。例如，如果选用 D50 锤开 3~4 档进行作业，不如选用 D62 锤开 2 档进行作业更合适。

8.3.3 静压工程桩是否压到位，与静压桩机的配置和压桩能力密切相关，本条规定了静压桩配备重量的下限，同时为保证后续施工桩的质量，杜绝采用“浮船法”沉桩。

8.3.4 本条给出了桩帽结构构造及桩垫设置要求。套桩头的套筒深度太小容易掉脱；套筒深度太大，桩身及桩帽略有倾斜，筒体下沿口就会磕伤桩身混凝土。桩帽套筒与管桩的间隙过小，当桩身倾斜时容易使桩顶挤坏；桩帽套筒与管桩的间隙过大，容易使锤击偏心。桩帽的垫层有“桩垫”和“锤垫”之分，锤垫设在桩帽的上部，是保护柴油锤的；桩垫设在桩帽的下部，软厚适宜的桩垫，可以延长锤击作用时间，降低锤击应力，起到保护桩头的作用，在打桩期间应经常注意检查和更换。

8.3.5 圆筒形的送桩器便于粘贴管桩收锤回弹曲线测绘纸。送桩器下端面要求开孔，便于管桩内腔进水后外溢和排气，否则管桩容易产生竖向裂缝。

8.4 沉桩

8.4.1 沉桩前的各项准备工作应充分，特别是对桩机设备的试运行和检查等工作应细致。施工过程中，施工单位由于桩机保养工作不到位影响施工质量和现场安全的故事时有发生。

1 对静压桩机，其夹持机构的性能好坏对压桩速度和对桩段造成损伤的可能性较大，夹持机构夹持桩段或送桩器不稳固，容易造成夹持机构打滑，导致桩机突然下沉而产生地基土剧烈震动，影响周围建筑物和居民的安全。此外，静压桩机的油压表必须每半年经法定检测单位标定。

2 对锤击桩机，施工或行走时应注意桩机桩架的平稳度和垂直度，防止桩机倾斜甚至倾翻。

3 锤击法施工时，在场区土层较软时要特别注意安全，因为土层较软时，桩段一经锤击，可能会使整节桩一下沉没在土中，整个桩锤也会落到地面甚至嵌入土中，因此在该类土中施工时，应采取安全技术措施，确保施工质量与安全。

8.4.2 沉桩施工顺序对周围建筑物和管线、已施工桩的施工质量均有较大的影响，这种影响主要是由于沉桩过程中的挤土效应所产生的，因此施工前应充分考虑现场实际情况后确定最佳施工顺序。

8.4.3 本条是对沉桩过程具体操作的规定，有以下两点说明：

1 大流水沉桩施工法主要用于锤击法沉桩，对静压法施工弊大于利。所谓大流水打桩施工法是指将大批桩的第一节打至地面，然后接长再将第二节打至地面，如此反复直至全部桩打至完成。大流水打桩施工法的优点是施工速度快，缺点是每一根桩不是一次性施打完成，每节桩之间的施打间歇时间太长，在粘土、粉质粘土层中，容易将桩头打损甚至打碎，使桩尖达不到设计持力层；另外，也难以做到随地质条件的变化而及时调整桩长。所以要求在上述地质条件下的桩应一次性打完，以保证质量。在其他地质条件下，可以采用流水打桩施工法作业，但需在本台班内将这批流水作业的桩打好。

2 对每根桩的总锤击数及最后 1m 沉桩击数进行限制，目的是防止桩身混凝土产生疲劳破坏。试验资料表明，对 PC 桩，当锤击应力为混凝土强度的 75% 时，锤击 819 次产生疲劳破坏；当锤击应力为混凝土强度的 45%~57% 时，锤击 2400 次产生疲劳破坏。实际打桩时，一般要求锤击应力控制在混凝土强度的 50% 以内，所以，控制在 2000 击以内桩身不会发生疲劳破坏。PHC 桩可适当增加，但不宜超过 2500 击。有统计资料表明，大多数管桩工程的桩的总锤击数在 300~1500 击之间，少数超过 2000 击，个别达到 3000 击甚至 4000 击；超过 3000 击时，桩身容易被打坏或产生严重的“内伤”。当某工地为数不少的桩总锤击数超过本条规定时，设计者应从柴油锤的选择是否恰当、持力层和收锤贯入度定得是否正确等方面去反复调整。

最后 1m 沉桩锤击数是根据本规程部分参编单位统计而来。据经验统计，大多数桩最后 1m 的锤击数为 100~250 击，个别达到 400~500 击的为不大正常。

锤击打桩过程中若出现锤击应力过大将会导致管桩破坏。考虑到锤击应力在施工现场中难以测定，本规程总结了部分参编单位的经验，通过桩身承载力的设计值、桩帽垫层材料及厚度、收锤标准等措施控制锤击应力。当管桩的施打满足本规程的有关要求时，一般不会出现锤击应力偏高的现象。

8.4.5 本条是关于送桩的具体规定，有以下两点说明：

1 送桩较深时，对锤击法施工，沉桩要连续进行，因为间歇一长，桩周土固结，送桩难度较大，很容易将桩头击碎；对静压法施工，送桩较深时，要防止夹持机构上下行走和夹持、脱离送桩器时，使送桩器产生扰动而位移，造成送桩器与桩帽局部接触，压桩时应力集中，容易引发“爆桩”，出现质量问题。

2 送桩深度超过 8m 时，应采取技术措施确保施工质量。其一是送桩后留下的孔洞要及时回填，以防孔洞影响后续施工桩的质量；其二要有足够长的送桩器，确保桩顶达到设计标高。

8.4.6 施工中一般采用划线法测量最后贯入度，即用一水平的横尺靠近桩身，在桩身上刻一水平线，然后数锤击数，当数到 10 或 30 时，再用横尺在桩身划一水平线，两条水平线的距离就是管桩的贯入量，再除以 10 击（或 30 击），即为每击的平均贯入量。本规程规定宜用收锤回弹曲线测绘纸先测管桩的回弹曲线，然后再从回弹曲线上量取最后贯入度，这种方法较划线法更能真实记录和反映收锤情况，有助于保证和提高打桩质量。

8.4.7 人工测绘回弹曲线方法如下：

1 收锤前夕，用胶纸将管桩收锤回弹曲线测绘纸贴在离地面 30~40cm 的管桩表面，（送桩时贴在

送桩器上)，测绘纸的长边应与桩身垂直；

2 用一根长约 1m 的横木条（一般做成长条凳形状）靠放在方格纸下方，作为测绘基准线；

3 用粗铅笔沿横木条在测绘纸下方划一水平线；

4 将粗铅笔笔尖垂直压在水平线段左端，随着柴油锤敲击桩顶及桩身一压一弹的上下来回运动，铅笔尖就在测绘纸上留下一条竖直的回弹运动轨迹。在测绘时，每锤击一下，测绘者持铅笔的手应沿横木条稍稍向右移动约 10mm，这样便形成一条有规则的锯齿形曲线；

5 当锤击 10 下，测绘纸上绘出 10 条回弹曲线后，测绘者顺势用铅笔沿横木条再划一水平线；

6 暂停锤击，移开横木，取下测绘纸，量出贯入度和桩土弹性压缩量，如果达到收锤标准，此桩算完成，不用再打；若达不到收锤标准，仍需继续锤击，再进行测绘，直至达到收锤标准才停打。

回弹曲线测绘出来以后，可作以下成果分析：

在测绘纸上量出两水平线段的距离，即为管桩收锤贯入度（mm/10 击）；

1) 在测绘纸上量出锯齿形压缩线的高度，即为桩身和桩端土体的弹性压缩量，一般为 12～25mm，相当于 Hilley（海利）公式中的 $C_p + C_q$ 实测值。

2) 锯齿形的回弹曲线如果均匀无突变，表明桩身没有质量问题；如果回弹曲线不规则、弹性压缩量大小相差悬殊，说明桩身质量可能有问题。

8.4.10 本条规定桩的接头焊接后自然冷却一段时间，是因为焊接即沉，高温的焊缝遇到地下水，如同淬火一样，焊缝容易变脆而裂开。

9 检验与监测

9.0.1 管桩在制造及吊运过程中,可能发生损坏,制造工艺也可能存在问题,在某一工程中甚至出现将明显挠曲的管桩压入土中的现象,造成了不应有的损失。因此在管桩入土前,必须由监理及施工单位进行逐节检查,检查方法主要采用目测、丈量等方法。检查中特别注意管桩是否产生微小裂缝,对受损管桩一概不准使用。

9.0.2 湖北省使用管桩以后,从未对管桩制作质量进行现场检测,根据广东省经验,必须加强这一环节的检测工作。为防止检测走过场,本条规定应由具有相应检测资质的单位对进入施工现场的管桩桩节进行随机抽检。

端板是管桩的一个重要配件,检查时可量测其厚度,目测外观,当对其质量有怀疑时,可进行材质检验。

考虑到检测工作的可操作性及代表性,规定了施工前后的检测数量,当独栋建筑物桩数少于 50 根时,可在施工前进行一节管桩的破坏性检测。同一场地多栋建筑物时,施工前,应对每一制造厂家、每一类型的进入工地的 2 节管桩桩节进行破坏性检测,沉桩过程中对同类型已截下桩头的检测数量不应少于 6 根,且每栋建筑物不应少于 1 根。

9.0.3 本条系针对武汉市管桩设计与施工中经常发生的问题而作的规定。

首先强调了工程桩施工前应施工试桩,采用单桩竖向静载荷试验的方法为设计单位提供设计依据,要求压至破坏。设计单位有必要时可设计不同长度、不同桩径的试桩,这样的试验方法将有助于确定科学合理的桩基方案。用工程桩进行试验显然难以达到上述目的。

当岩土工程条件简单,且以压桩力控制桩长或有经验时,可用工程桩进行试验。考虑到可操作性,本条连同工程桩的承载力验收检测一并规定了检测方法和数量。

9.0.4 根据广东省的经验,对管桩内孔壁进行灯光照射目测或孔内摄影检查是确保成桩质量的直观的、有效的检测方式。为给检测提供条件,施工中桩孔应临时封闭,防止从桩顶进土、进水,当桩孔进水时,应采用小型潜水泵抽干孔内水,或用人工方法清除孔内水,然后进行检测。

9.0.5 本条规定系在 GB50202 规定的基础上补充完善而成,并以强条形式表述。管桩沉桩的偏位控制难于人工挖孔桩、钻孔桩等桩型,特别是桩顶埋置较深需要送桩时,桩位偏差往往超过规范容许值。为此 GB50202 对基础梁下的排桩的桩位容许偏差增加了 $0.01H$, H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离。实际上基础梁下的排桩垂直于基础梁轴线方向的偏差不应过大,容许偏差不应放宽;对一个承台下桩数为 4~16 根的桩基,桩位容许偏差定为 $D/2$ 也过宽松。针对上述情况,本规程修改了 GB50202 的规定:当一个承台下桩数为 4~16 根时,容许桩位偏差为 100mm(边桩)或 $D/3$ (中间桩);桩位允许偏差放宽的条件改为:基础梁下的排桩沿梁轴线的偏差、一个承台下多于 9 根桩以及筏板下的群桩,其桩位允许偏差可以增加 $0.01H$ 。放宽限制时,应由设计人员根据工程实际情况予以决定,避免送桩过深时,桩顶大偏位对桩身及结构造成的不利影响。管桩桩径相对偏小而提供的竖向抗压承载力相对较高,桩位偏差对桩承载力影响较大,因此桩位偏差的检测必须进行,并以强条形式表述。

9.0.7 管桩广泛应用于软土区,基坑开挖或沉桩过程中管桩发生倾斜的情况时有发生。桩身裂缝及混凝土损伤往往伴随着桩的倾斜同时出现,此时桩的承载能力可能大大降低。武汉市某某花园高层建筑的管桩发生倾斜后进行了载荷试验,其中两根直径 500mm,壁厚 125mm 的 PHC 桩,极限承载力由设计要求的 4400kN 分别降低至 690kN 及 840kN,上述两根桩均为 II 类桩,桩身倾斜率分别为 2.9% 及 1.6%,加载中桩身破坏。这个事例虽少见,但不能不引起重视。为确保安全,根据武汉市管桩事故处理经验,倾斜度大于 3% 的桩应视为废桩,倾斜度为 1%~2% 及 2%~3% 两种情况应分别进行单

桩静载试验,对单桩承载力进行验证,并将试验结果乘以0.6~0.9的折减系数。对群桩、倾斜度较小桩及Ⅰ类桩,折减系数取大值;对Ⅱ类桩、倾斜度较大或少桩承台下的桩,折减系数取小值。

9.0.8 管桩接头焊缝质量是抗拔桩的控制因素之一,GB50202规定对重要工程应对焊接头做10%的焊缝探伤检查。考虑到操作的可行性,本规程规定随机抽检的桩数不少于6根且不少于总桩数的1%。检测项目应按GB50202的有关规定,检验接头错口尺寸、焊缝咬边深度、焊缝高度和宽度、焊缝外观质量等。对于焊缝的探伤检查,在沉桩中进行探伤有可能导致沉桩困难,因此必要时可仅对第一个接头焊缝进行探伤。

9.0.9 管桩的设计、施工和检测中应考虑挤土效应对邻桩承载力的影响,根据湖北省的工程实践,当桩进入砂类土较深且持力层为砂类土时,未发现邻桩上浮、承载力降低的案例;当桩侧土为粘性土,桩端持力层为强风化、中风化岩层时,常发生邻桩上浮,承载力降低的事例。因此,在无经验的场地应对工程桩进行单桩承载力试验,确认其承载能力。

为查明挤土效应的影响,对无经验的地区,在沉桩过程中应对群桩中的单桩桩顶标高进行跟踪监测,如桩顶标高上浮量小于20mm时,可视为挤土效应影响不大。

当桩顶低于地面较多,不便进行桩顶标高观测时,可以短节管桩作送桩,接头点焊,可重复使用。

9.0.10 本条引用了相关规范的规定,考虑到以桩身强度控制设计时,沉桩中桩受打、压力较大,桩身易受损,本规程规定应全数检测。同时考虑抗拔桩桩身不能出现缺陷,也应对抗拔桩进行全数检测。

9.0.11 鉴于管桩制作工艺的特殊性,低应变检测的判别标准与其他灌注桩有所不同。本条规定了管桩桩身完整性的判别方法,规范检测行为,确保安全。

由于管桩的纵向钢筋直径较小,当桩出现裂缝或缺陷后,钢筋耐久性受到影响,因此,对永久结构的抗拔桩或受水平力为主的桩,当桩身有裂缝或缺陷时不应判为Ⅱ类桩,而应判为Ⅲ类或Ⅳ类桩。

经载荷试验表明,桩身轻微的水平裂缝对桩的抗压承载力影响不大,因此经挖开检查,当水平裂缝小于1/3桩截面周长时,可判为Ⅱ类桩。如果裂缝为斜裂缝或垂直裂缝则对承载力可能发生较大影响,应判为Ⅲ类或Ⅳ类桩。桩身高强度混凝土的破损是一种危险的缺陷,视缺陷严重程度应判为Ⅲ、Ⅳ类桩。

桩接头裙板附近是桩身的薄弱环节,此处常易破损,检测中应仔细操作,将接头附近桩身缺陷与接头反射区分开来,避免误判。

9.0.12 管桩采用离心法生产,正常生产的桩的桩身不应存在缺陷。当低应变检测中发现桩身缺陷时,不外乎桩身产生裂缝或混凝土受损。桩身裂缝系在吊装、运输、打压及基坑开挖过程中操作不当产生的,一般为水平裂缝,也有斜裂缝和垂直裂缝。水平裂缝对抗压承载力影响不大,斜裂缝则影响抗压承载力。如沉桩过程中桩身混凝土受损,则对抗压承载力的影响较大,不可忽视。因此对存在缺陷的桩应慎重对待,排除接头问题后,按9.0.7条的要求进行桩身倾斜度检测,综合分析,确定处理方法。

以桩身强度控制设计或桩受力较大的,经处理后的Ⅲ类桩应进行静载荷试验,确保安全。

9.0.13 因管桩上部在沉桩及基坑开挖中受力较大,桩身浅部缺陷较为常见。对桩身浅部缺陷可挖开截除缺陷以上的桩身,再次进行低应变检测,确认下部桩身有无缺陷,可否接桩。开挖时应结合场地岩土工程条件,采取有效的支护措施,防止开挖检查、接桩过程中造成坑底管涌、土体变形影响邻桩的事故发生。

9.0.15 由于管桩生产厂家质量保证体系不完善,造成现场沉桩时桩身破损率很高的事件时有发生。桩身混凝土强度的现场检验,目前尚未找到合适的方法,采用钻芯法检测,检测结果离散性很大,其原因主要是取芯设备不良,钻芯速度过快(一般要求5mm/min),制样工艺不符要求。因此,钻芯时应采用进口或国产的优良钻具,制样时应采用双面磨床进行精加工。检测单位应具有相应的机具,并经

建设主管部门授权方可进行桩身钻芯检测。即使采取上述措施，检测结果的离散性仍不可避免，因此，本规程又规定采取桩段抗弯试验的方法进行核对。抗弯强度不合格的桩可视为混凝土强度不合格，如抗弯强度满足要求，钻芯混凝土强度不低于桩身混凝土强度等级的 85%时，也可视为桩身混凝土强度合格。这样就兼顾了钻芯法检测的不定因素。

9.0.16 为确保管桩制造质量，质量管理部门不定期抽检生产厂家混凝土试块抗压强度是很必要的。