



T/CECS G XXXX: 2020

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路桥梁预应力混凝土管桩
技术规程

Technical Specification for Prestressed Concrete Pipe Pile
of Highway Bridge

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路桥梁预应力混凝土管桩技术规程

Technical Specification for Prestressed Concrete Pipe Pile of Highway Bridge

T/CECS G: DXX-XX-2020

主编单位：中交第二公路勘察设计院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2020 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中建标公路〔2018〕114号《关于开展2018年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》要求，由中交第二公路勘察设计院有限公司作为主编单位承担对《公路桥梁预应力混凝土管桩技术规程》的编制工作。

在编制过程中，编制组系统总结了公路桥梁预应力混凝土管桩的工程实践经验，参考借鉴了国内外相关标准规范。在规范条文初稿编写完成以后，通过多种方式广泛征求了设计、施工、建设、管理等有关单位和专家的意见，经过反复讨论、修改，最终定稿。

本规程共9章，11个附录。主要内容：总则，术语及符号，基本规定，管桩规格、尺寸、材料和构造，桥梁地质勘察，桩身结构强度计算，地基土对桩的支撑能力计算，施工，资料检测及验收等。对基础设计划分为桩身结构强度计算和地基土对桩的支撑能力计算两个章节。

使用本规程时，可能涉及“一种用于抗拔桩基的机械连接结构及其连接方法（专利号：ZL201010198770.3）”、“水平承载力桩及其生产工艺（专利号：ZL200910065112.4）”专利的使用。

专利权人专利实施许可声明：同意在公平、合理无歧视基础上，收费许可任何组织或个人在实施该团体标准时实施其专利。愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责管理，由中交第二公路勘察设计院有限公司负责解释。在执行过程中，请将意见和建议寄送至中交第二公路勘察设计院有限公司（地址：湖北省武汉市经济技术开发区创业路18号，邮编：430056）。

本规程主编单位：中交第二公路勘察设计院有限公司

本规程参编单位：同济大学

北京工业大学

湖北长江路桥股份有限公司

建华建材（中国）有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目次

1	总则	1
2	术语、符号	3
2.1	术语	3
2.2	主要符号	6
3	基本规定	8
3.1	一般规定	8
3.2	管桩基础的应用	9
4	管桩规格、尺寸、材料和构造	13
4.1	管桩规格	13
4.2	管桩尺寸	14
4.3	管桩材料	16
4.4	管桩构造	18
5	桥梁地质勘察	21
5.1	工程勘察	21
5.2	勘察报告	22
6	桩身结构强度计算	24
6.1	一般规定	24
6.2	轴力计算	26
6.3	弯矩计算	28
6.4	剪力计算	30
6.5	偏心受压计算	31
6.6	细部计算	33
6.7	抗震计算	35
7	地基土对桩的支承能力计算	37
7.1	一般规定	37
7.2	构造规定	38
7.3	轴向受压承载力计算	41
7.4	轴向受拉承载力计算	44
7.5	水平承载力计算	45

7.6 沉降及稳定性计算	47
8 施工	49
8.1 一般规定	49
8.2 起吊、运输与堆放	53
8.3 接桩与截桩	54
8.4 静压法沉桩	56
8.5 锤击法沉桩	60
9 质量检测及验收	64
9.1 一般规定	64
9.2 施工前检验	65
9.3 施工过程监测	68
9.4 施工后检验	70
9.5 管桩工程验收	72
附录 A 管桩结构形式、桩身配筋和管桩与承台连接构造	74
附录 B 管桩桩身力学性能设计用表	78
附录 C 管桩桩身力学性能检验值	81
附录 D 管桩偏心受压 N-M 曲线	83
附录 E 静压沉桩施工记录表	92
附录 F 锤击沉桩施工记录表	93
附录 G 静压桩机及适用范围参数表	94
附录 H 选锤参考资料	96
附录 I 管桩桩尖规格及构造图	98
附录 J 管桩混凝土有效预压应力值计算方法	103
附录 K 管桩基础工程质量检验评定表	105

1 总则

1.0.1 为了适应公路桥梁预应力混凝土管桩基础应用的需要,满足安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、保护环境、规范施工的要求,制定本规程。

说明:使用范围是公路桥梁预应力混凝土管桩基础(大纲评审选择了 PHC+PRC 两种);做到什么要求的顺序交通部两本规范都把“技术先进”放在第一,但对于公路桥梁预应力混凝土管桩基础目前的应用还较少,故往后调整到第三。

1.0.2 本规程适用于公路桥梁预应力混凝土管桩基础的勘察、设计、施工、质量检测和工程验收。铁路、市政及其他道路桥梁的预应力混凝土管桩基础也可参照使用。

说明:包含内容有勘察、设计、施工、检测和验收共 5 方面的内容;适用于公路桥梁,其他道路桥梁参照使用。

1.0.3 预应力混凝土管桩基础应根据使用要求、水文、地质、地形、荷载、材料情况、上下部结构形式、施工技术条件、环境条件和保护要求、耐久性要求等因素合理设计,因地制宜地选择施工工艺,精心施工、严格监控。

说明:预应力混凝土管桩具有“绿色环保、质量可控、施工安全、节省工期、降低造价”的明显优势,但并不具有广泛的可实施性。业主单位和设计单位需要对勘察、设计、施工、检测和验收全面了解和论证,才可尽量避免施工和使用过程中的不足。

1.0.4 桥址处应进行工程地质勘察。勘察资料应正确反映地形、地貌、地层结构、影响桥梁稳定的不良地质、岩土的物理力学性质及地下水埋藏等详细情况;勘察内容及提供的资料还需满足沉桩施工工艺的相关要求。

说明:沉桩施工岩土工程勘察应适当增加标准贯入或静力触探等原位测试试验;同时,沉桩桩侧土的摩阻力标准值与桩端处土的承载力标准值,与灌注桩均有所区别。

1.0.5 预应力混凝土管桩基础的勘察、设计和施工应紧密结合。设计阶段,应结合项目具体条件对勘察、设计、施工、质量检测和工程验收提供可实施的指导文件;无类似工程经验时,应通过试验桩及测试获取管桩规格、施工工艺、施工设备、沉桩控制标准等相关指标和参数,同一地质条件下每种规格的试验桩数量不应少于 3 根。施工阶段,当施工控制桩长与设计桩长相差较多时,参建各方应共同研究,及时对桩的承载力和桩长作出必要的调整。

说明：预应力混凝土管桩施工不具有广泛的可实施性，故初步设计阶段就应该明确施工方案并验证其可行性和使用条件范围等工作内容，指导施工图设计。

1.0.6 预应力混凝土管桩基础的施工，可根据设计要求、地质条件、环境保护要求等选用静力压入法或锤击贯入法沉桩。当采用引孔沉桩法、植入法、中掘法、射水沉桩法、振动沉桩法等其它施工工艺时，应进行充分的论证和比选。

说明：还有引孔沉桩法、植入法、中掘法、钻孔预制复合桩等一些施工工艺；施工工艺仍在研究和完善过程中，这些以及其它一些新工艺，需要参建各方共同讨论研究确定。

1.0.7 预应力混凝土管桩的勘察、设计、施工、质量检测 and 工程验收，除应符合本规程外，尚应符合现行有关国家和行业标准的规定。

说明：国家标准仅见《先张法预应力混凝土管桩》（GB/T 13476-2009）和《10G409 预应力混凝土管桩管桩国标图集》，里面仅有 PC 和 PHC 规格；缺 PRC 的国家产品标准和图集。行业标准有中华人民共和国住房和城乡建设部《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406-2017），相关规范中也有部分配套内容。交通部行业标准中，公路规范关于预应力混凝土管桩的内容较少，港口工程桩基规范略多一点。预应力混凝土管桩的地方标准 10 本左右。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 预应力混凝土管桩 prestressed concrete pipe pile

采用离心和预应力工艺成型的圆环形截面的预应力混凝土桩，简称管桩。桩身混凝土强度等级为 C80 及以上的管桩为高强混凝土管桩（简称 PHC 管桩），主筋配筋形式为预应力钢棒和普通钢筋组合布置的高强混凝土管桩为混合配筋管桩（简称 PRC 管桩）。

说明：参考《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.2 混凝土管桩基础 concrete pipe pile foundation

由沉入土（岩）层中的管桩和连接于桩顶的承台共同组成的基础。

说明：参考《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.3 灌注桩 cast-in-situ pile

现场成孔，安置钢筋笼并现场浇筑混凝土形成的桩。

说明：《港口工程桩基规范》（JTS 167—4—2012）

2.1.4 沉桩 driven pile

采用静力压桩法、锤击贯入法等方法沉入岩土中的桩。

说明：参照《港口工程桩基规范》（JTS 167—4—2012）

2.1.5 静力压桩法 jacked driving method

利用静压设备将管桩压至土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.6 锤击贯入法 hammer-driving method

利用锤击设备将管桩打至土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.7 振动沉桩法 vibrating penetration method

利用振动设备将管桩沉入土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

说明：

2.1.8 射水沉桩法 water-jetted penetration method

通过一套固定在桩身的射水系统，在桩基沉入前和沉入过程中喷射高压水流，实现桩周土的液化，减小桩身入土阻力，同时利用桩锤冲击力、振动力和桩身自重，将桩体沉入土（岩）层设计深度的沉桩施工方法。

说明：

2.1.9 引孔沉桩法 method of pressing pile in the predrilled hole

预先用螺旋钻机在桩位处引孔取土，改善挤土效应和可沉性，再用桩机设备将桩沉至设计位置的施工方法。

说明：参考四川省地标《预应力混凝土管桩基础技术规程》（DB21/T1565—2015）

2.1.10 植入法 method of planting pile

预先用钻机在桩位处钻孔或采用搅拌、旋喷成桩，然后将管桩植入其中的施工方法。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.11 中掘法 method of dig construction

在管桩中空部插入专用钻头，边钻孔取土边将桩沉入土（岩）中的沉桩施工方法。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.12 送桩 pile following

沉桩过程中，借助送桩器将桩顶送至设计要求标高的施工工序。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.13 填芯混凝土 filling concrete for pipe pile head

填筑在管桩内腔一定深度的混凝土。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.14 封底混凝土 sealing concrete for pipe pile toe

灌填在管桩底部内腔一定高度的混凝土。

说明：江苏省地标《预应力混凝土管桩基础技术规程》（DGJ/TJ 109—2010）

2.1.15 单桩轴向极限承载力 ultimate axial bearing capacity of a single pile

单桩在轴向荷载作用下达到破坏状态前的最大荷载或出现不适于继续承载的变形时所对应的荷载。

说明：《港口工程桩基规范》（JTS 167—4—2012）

2.1.16 单桩水平承载力容许值 allowable value of lateral bearing capacity for a single tube-pile

荷载试验中单桩桩顶允许水平位移所对应的水平推力值。

说明：辽宁省地方标准《预应力混凝土管桩基础技术规程》（DB21/T1565—2015）

2.1.17 极限侧摩阻力 ultimate shaft resistance

岩、土对桩身侧表面产生的最大摩阻力。

说明：《港口工程桩基规范》（JTS 167—4—2012）

2.1.18 极限端阻力 ultimate tip resistance

岩、土对桩端产生的最大阻力。

说明：《港口工程桩基规范》（JTS 167—4—2012）

2.1.19 管桩土塞效应 plugging effect of pipe pile

开口桩尖沉桩过程中，土体涌入管桩内的土芯固结闭塞后对桩端阻力发挥程度的影响效应。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.20 终压控制标准 standard for stop pressing

将桩沉至设计要求时终止压桩的施工控制条件。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.21 收锤标准 standard for stop hammering

将桩沉至设计要求时终止锤击的施工控制条件。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.1.22 贯入度 penetration

用落锤锤击管桩一定击数后，管桩进入土（岩）层中的深度。

说明：《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）

2.2 主要符号

2.2.1 抗力及材料特性

C80——立方体抗压强度标准值为 80MPa 的混凝土；

E_c ——混凝土弹性模量；

E_p 、 E_s ——预应力钢筋、普通钢筋弹性模量；

f_{ck} 、 f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} 、 f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{pk} 、 f_{pd} ——预应力钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f_{sk} 、 f_{sd} ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；

f'_{pd} 、 f'_{sd} ——预应力钢筋、普通钢筋抗压强度设计值；

q_{ik} ——与 l_i 对应的各土层与桩侧摩阻力标准值；

q_{rk} ——桩端处土的承载力标准值；

m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数。

2.2.2 作用及作用效应

N ——桩身轴向受压承载力设计值；

R ——桩身轴心受压承载力设计值；

T ——桩身轴心受拉承载力设计值；

M ——桩身正截面受弯承载力设计值；

V ——桩身横向受剪承载力设计值；

M_k ——桩身正截面抗裂弯矩设计值；

T_k ——桩身轴心正截面抗裂拉力设计值；

M_{cr} ——桩身正截面抗裂弯矩设计值；

V_{cr} ——桩身正截面抗裂弯矩设计值；

F_d ——由承台底面以上的作用组合产生的竖向力设计值；

H_d ——由承台底面以上的作用组合产生的水平力设计值

N_{id} ——第 i 根桩承台作用于桩顶面的竖向力设计值；

H_{id} ——第 i 根桩承台作用于桩顶面的水平力设计值；

σ_{ce} ——混凝土有效预压应力；

σ_{p0} ——预应力钢筋截面重心处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力；

$[R_a]$ ——单桩轴向受压承载力容许值；

$[R_t]$ ——单桩轴向受拉承载力容许值；

$[R_{ha}]$ ——单桩水平承载力设计值；

R_b ——桩身允许抱压压桩力；

R_d ——桩身允许顶压压桩力。

2.2.3 几何参数

A ——管桩桩身截面面积；

A_0 ——管桩换算截面面积；

A_p ——全部纵向预应力钢筋截面面积；

A_s ——全部纵向普通钢筋截面面积；

I ——管桩毛截面的惯性矩；

W_0 ——换算截面的弹性抵抗矩；

d, d_1 ——管桩的外径、内径；

t ——管桩壁厚；

r_1, r_2 ——管桩截面的内外半径；

r_p ——纵向预应力筋重心所在圆周的半径；

r_s ——纵向普通钢筋重心所在圆周的半径；

e_i ——初始偏心距；

e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距；

e_a ——附加偏心距；

L_t ——桩的入土深度；

u ——桩身外周长；

l_i ——承台底面或局部冲刷线以下各土层的厚度；

A_{p1} ——管桩空心部分敞口面积；

h_c ——桩端进入持力层的深度（不包括桩尖）。

2.2.4 计算参数及其他

γ_0 ——桥涵结构重要性系数；

φ ——轴压构件稳定系数；

α_1 ——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值的比例系数；

α ——受压区混凝土截面面积与全截面截面面积的比值；

α_t ——纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值；

η ——偏心受压构件的偏心距增大系数；

λ_p ——桩端土塞效应修正系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 管桩的承载力应根据不同受力情况，分别按桩身结构强度、地基土对桩的支承能力进行计算，并取其小值。

说明：桩基础承载力包含两个层面的内容，分别是桩自身的结构强度和地基的承载能力；预应力混凝土管桩较常规灌注桩，抗压和抗剪能力相对有所降低，应特别注意。

3.1.2 管桩的承载能力极限状态设计应包括以下内容：

- 1 根据桩的受力情况进行地基土对桩的竖向承载力、水平承载力计算和软弱下卧层承载力的验算；
- 2 使用状态桩身受压、受弯、受拉、受剪和受扭承载力计算，吊装、运输、沉桩和试压状态的桩身承载力验算；
- 3 桩的压屈稳定验算；
- 4 对位于坡地、岸边的基桩，应进行整体稳定性验算。

说明：条目 1 是验算地基承载力；条目 2 计算桩身各工况下的承载能力，特别注意静荷载试验时采用单桩轴向极限承载力，该值通常为竖向承载力最大值；条目 3 一般适用于桩侧土不排水抗剪强度小于 10kPa 的地质条件；条目 4 强调了整体稳定性验算内容。

3.1.3 管桩的正常使用极限状态设计应包括以下内容：

- 1 桩的抗裂验算，宜设计为全预应力混凝土构件；
- 2 桩的水平变形计算等。

说明：裂缝宽度满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》相关要求，优先考虑全预应力构件。

3.1.4 管桩荷载的作用取值及其效应组合、有关系数等的取用，除有特别指明外应按现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定执行；承载力计算应按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》的规定执行；结构计算应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定执行；抗震设防区管桩设计尚应符合现行《公路工程抗震设计

规范》的有关规定。

说明：结构验算按承载力极限状态和正常使用极限状态验算，地基承载力验算按标准值进行组合验算；抗震设计按抗震相关规范规定进行计算。

3.1.5 管桩设计应考虑沉降和水平变位对结构的影响。

说明：桩基设计都应该考虑该项影响。

3.1.6 管桩设计应考虑岸坡变形、冲刷、淤积和土的沉降等因素对桩的不利影响。

说明：桩基设计都应该考虑该项影响。

3.1.7 管桩设计与施工应满足耐久性要求，冻融地区尚应考虑桩体冻胀、冰凌对桩的磨损和撞损等影响。

说明：预应力混凝土管桩是空心结构，不合适的设计可能会带来更加严重的影响。承台之下冻胀，还会对桩基产生上拔的力，均需要特别注意。

3.1.8 进行静载试验的桩，宜同时进行高应变动力试验。

说明：呼应 3.2.7 条。

3.1.9 管桩设计与施工应收集下列资料：

- 1 使用要求；
- 2 水文、气象、地形、工程环境和冲淤等资料；
- 3 工程地质和水文地质报告及评价；
- 4 必要的荷载试验和试桩资料；
- 5 有碍沉桩的障碍物的探测报告；
- 6 主要施工机具、设备等施工条件资料。

说明：管桩设计与施工必须紧密结合。施工中采用设计桩长和施工反馈的双控，一方面对地质突变能及时反馈，有助于基础的安全；另一方面必然带来设计不能随心所欲。

3.2 管桩基础的应用

3.2.1 管桩基础用于缺少工程经验、膨胀土、遇水软化岩石、沉桩破坏岩土结构不易恢复等情况时，应通过实验性施工及相应测试试验验证其适用性；地下水或土对混凝土构件中的钢筋有中等及以上腐蚀性的特殊场地应符合现行国家及行业标准对耐久性的要求；工

程需要时应进行方案论证。

说明：四川省地方标准《四川省先张法预应力高强混凝土管桩基础技术规程》（DB51/T5070—2016）

3.2.2 本规程适用于采用静力压入法或锤击贯入法施工的管桩基础。管桩可穿越各类软土、素填土、可塑状态黏性土、粉土、松散及稍密的砂土，进入硬塑或坚硬状态黏性土、中密及中密以上砂土、碎石土、强风化岩及中风化软岩一定深度。当需穿过硬土层或进入硬土层较深时，应通过现场沉桩试验确定其适用性。下列地质条件不宜采用或慎用管桩：

- 1 地质条件复杂、岩面起伏较大或地下障碍物较多，沉桩困难；
- 2 桩端持力层以上的覆盖层中含有不适宜作为桩端持力层且管桩又难以贯穿的坚硬黏性土、中密以上砂土、碎石土层等坚硬夹层；
- 3 基岩以上的覆盖层为淤泥等松软土层，其下直接为微风化岩或中风化硬质岩层；或岩面上为硬质岩残积土及很薄的强风化岩层；
- 4 桩端持力层为遇水易软化且埋藏较浅的风化岩层；
- 5 基岩面上没有合适持力层的岩溶地层；
- 6 地下水或地基土对管桩的混凝土、钢筋及钢零部件有强腐蚀作用的岩土层；
- 7 沉桩可能导致岸坡稳定性不足或附近有重要建筑物时；
- 8 施工条件限制，桩数较少，采用管桩不经济时；
- 9 需避免挤土影响时。

说明：结合交通部《港口工程桩基规范》（JTS 167-4-2012）和辽宁省地方标准《预应力混凝土管桩基础技术规程》（DB21/T1565—2015）

3.2.3 管桩基础采用静力压入法或锤击贯入法沉桩困难时，可考虑射水沉桩法、引孔沉桩法、植入法、中掘法等施工工艺，但应通过试沉桩和静荷载试验验证可沉性，并总结承载力估算方法。其适用范围分别如下：

- 1 射水沉桩法适用于密实砂土、碎石土土层，用锤击贯入法或振动沉桩法有困难时，可用射水法配合进行；在黏性土中或重要构造物（建筑物）附近不宜采用射水沉桩法。
- 2 引孔沉桩法适用于难以穿透的密实砂、硬土夹层，或沉桩过程产生超量挤土效应的施工场地；
- 3 植入法适用于深厚非软土地区，或沉桩过程产生超量挤土效应的施工场地；
- 4 中掘法适用于桩端持力层为一般黏性土、粉土层、砂土层、碎石类土层、强风化基岩和软质岩层的地质情况。

说明：参考河北省地标。管桩基础采用静力压入法和锤击贯入法无取土、无弃土，施工过程绿色环保，且施工工序少、工期短、费用低；采用引孔沉桩法降低了挤土效应并且必

然相对降低了承载能力，但可以让管桩进入更理想的持力层；植入法尤其是先成孔后植入和灌注桩的使用范围都接近了，重点在于管桩和桩底、孔壁的再连接；中掘法国内基本还没相关的设备，进口设备目前在公路桥梁中基本还无性价比可言。

3.2.4 管桩施工前应查明施工场地及毗邻区域的地下管线、构造（建筑）物及地下障碍物状况，并制定相应的安全保护方案。

说明：四川省地方标准《四川省先张法预应力高强混凝土管桩基础技术规程》（DB51/T5070—2016）

3.2.5 管桩基础工程应根据地质条件、工程特点、施工条件、机具设备以及挤土、施工震动、噪音对周边环境和安全的影响等因素选择适宜的施工方法。沉桩施工时，应保证桩身完整无损伤。

说明：河北省地方标准《预应力混凝土管桩技术规程》（DB13(J)/T 105—2017）

3.2.6 管桩用作摩擦型桩时，其长径比不宜大于 100；管桩用作端承型桩时，其长径比不宜大于 80；当管桩穿越厚度较大的淤泥及淤泥质土或可液化土层时，其长径比不宜大于 50，且应考虑桩身的稳定性及其对承载力的影响。

说明：辽宁省地方标准《预应力混凝土管桩基础技术规程》（DB21/T1565—2015）等，广东省地标要求管桩用作端承型桩时，其长径比不宜大于 60；本规程桩身验算内容比较完整，可通过验算来进一步核实。

3.2.7 管桩基础的单桩竖向极限承载力应通过静载试验确定；或利用动力测试与静载试验对比资料，并结合地区工程经验综合确定。

说明：四川省地方标准《四川省先张法预应力高强混凝土管桩基础技术规程》（DB51/T5070—2016）

3.2.8 因地质或荷载等作用，地基土产生大于桩体沉降的管桩基础设计时应考虑地基土产生的负摩阻力对管桩承载力和变形的影响。

说明：参考四川省地方标准《四川省先张法预应力高强混凝土管桩基础技术规程》（DB51/T5070—2016）

3.2.9 管桩基础应减少接头数量，接头宜位于非污染土层中且避开地下水位变化段，可采用焊接或机械连接。对地面下 2m 以上部位管桩接头外露铁件，应采取防腐措施。位于污染土层中的桩接头，接桩钢零件应涂刷防腐涂层或增加钢零件厚度，其腐蚀裕量不小于 2mm，也可采用热收缩聚乙烯套膜保护。

说明：参考《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406—2017）等。避开水和氧气是目标。

3.2.10 在抗震设防烈度为 7 度及以上时，桩的接头位置应设置在非液化土层中。

说明：理论上桩的接头强度不低于桩身强度，但其工程质量稳定性远低于桩身预制件部分。

3.2.11 公路桥梁管桩基础，不宜用作抗拔桩。

说明：公路桥梁桩基础用作抗拔桩较少，用不宜来进行规定较合适。

3.2.12 公路桥梁管桩基础与承台的连接构造宜参考附录 A 进行设计。

说明：公路桥梁桩基础用作抗拔桩较少，用不宜来进行规定较合适。

征求意见稿

4 管桩规格、尺寸、材料和构造

4.1 管桩规格

4.1.1 本规程所指预应力混凝土管桩是指采用离心和预应力工艺成型的圆环形截面的预应力混凝土桩，简称管桩。桩身混凝土强度等级为 C80 及以上的管桩为高强混凝土管桩（简称 PHC 管桩），主筋配筋形式为预应力钢棒和普通钢筋组合布置的高强混凝土管桩为混合配筋管桩（简称 PRC 管桩）。

说明：PHC 管桩与国家标准《先张法预应力混凝土管桩》（GB/T 13476-2009）和国家建筑标准设计图集 10G409《预应力混凝土管桩》相同，只选用了部分规格，产品质量和性能应满足国家标准的规定；PRC 管桩暂无国家标准和国家标准设计图集，本规程未列举的产品质量和性能参照国家标准的规定。

4.1.2 PHC 管桩按桩身混凝土有效预压应力值分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型；PRC 管桩根据配筋的不同分为 A、AB、B、C、D 型。

说明：PRC 管桩没有 GB 产品规范，但是它在桥梁基础中尤其是在最上一节管桩中具有较好的适用性，故列入到本规程；PC 管桩在桥梁基础中适用性较差，故不列入规程。

4.1.3 管桩按外径分为 600mm、800mm、1000mm、1200mm、1400mm。

说明：根据公路桥梁管桩基础特点，选择适用的外径范围，去掉了用不到的。

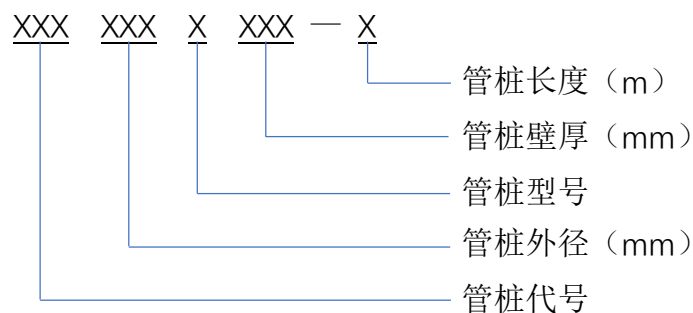
4.1.4 管桩的基本尺寸和桩身力学性能应符合本标准附录 A~附录 D 的规定。

说明：PRC 管桩需要给出相关内容，PHC 选取桥梁采用的部分给出。

4.1.5 管桩出厂时应有产品合格证，距离桩身两端 1000mm~1500mm 处应有标记，产品合格证内容包括：管桩类型、管桩型号、外径、壁厚和单节长度等。

说明：产品合格证是必要要求，两端标记是基本要求。

4.1.6 管桩标记

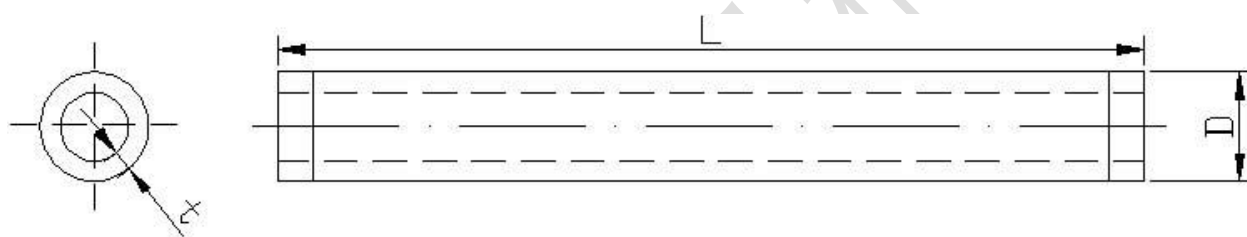


示例：外径 800mm、壁厚 110mm、长度 12m 的 AB 型预应力高强混凝土管桩的标记为“PHC 800 AB 110 — 12”。

说明：最基础的标记内容。

4.2 管桩尺寸

4.2.1 管桩的结构形状和基本尺寸应符合图 4.2.1 和表 4.2.1-1 和表 4.2.1-2 的规定。



t—壁厚；L—长度；D—外径

图 4.2.1 管桩的结构形式

表 4.2.1-1 PHC 管桩的基本尺寸

外径 D/mm	型 号	壁厚 t/mm	长度 L/m	预应力钢筋	外径 D/mm	型 号	壁厚 t/mm	长度 L/m	预应力钢筋
600	A	110	5~15	14 ϕ^D 9.0	1000	A	130	5~21	32 ϕ^D 9.0
	AB			14 ϕ^D 10.7		AB			32 ϕ^D 10.7
	B			14 ϕ^D 12.6		B			32 ϕ^D 12.6
	C			17 ϕ^D 12.6		C			32 ϕ^D 14.0
	A	130	5~15	16 ϕ^D 9.0	1200	A	150	5~23	30 ϕ^D 10.7
	AB			16 ϕ^D 10.7		AB			30 ϕ^D 12.6
	B			16 ϕ^D 12.6		B			45 ϕ^D 12.6
	C			20 ϕ^D 12.6		C			45 ϕ^D 14.0
800	A	110	5~18	15 ϕ^D 10.7	1400	A	150	5~25	25 ϕ^D 12.6
	AB			15 ϕ^D 12.6		AB			50 ϕ^D 10.7
	B			30 ϕ^D 10.7		B			50 ϕ^D 12.6

	C			30 ϕ^D 12.6		C			50 ϕ^D 14.0
	A			16 ϕ^D 10.7					
	AB			16 ϕ^D 12.6					
	B			32 ϕ^D 10.7					
	C			32 ϕ^D 12.6					

注：具体项目，也可根据计算分析、相关规范等，生产或设计其他规格、型号、长度的管桩。

表 4.2.1-2 PRC 管桩的基本尺寸、配筋

外径 D/mm	型号	壁厚 t/mm	长度 L/m	预应力钢筋	非预应力钢筋	螺旋箍筋
600	AB	110	5~17	14 ϕ^D 10.7	14 12	ϕ^b 5
	B			16 ϕ^D 10.7	16 12	ϕ^b 5
	C			14 ϕ^D 12.6	14 12	ϕ^b 5
	D			16 ϕ^D 12.6	16 12	ϕ^b 5
	AB	130	5~16	16 ϕ^D 10.7	16 12	ϕ^b 5
	B			18 ϕ^D 10.7	18 12	ϕ^b 5
	C			16 ϕ^D 12.6	16 12	ϕ^b 5
	D			18 ϕ^D 12.6	18 12	ϕ^b 5
800	B	110	5~21	24 ϕ^D 10.7	24 12	ϕ^b 6
	C			24 ϕ^D 12.6	24 12	ϕ^b 6
	B	130	5~20	24 ϕ^D 10.7	24 12	ϕ^b 6
	C			24 ϕ^D 12.6	24 12	ϕ^b 6
1000	B	130	5~22	26 ϕ^D 10.7	26 12	ϕ^b 6
	C			26 ϕ^D 12.6	26 12	ϕ^b 6
1200	A	150	5~23	30 ϕ^D 10.7	30 12	ϕ^b 6
	AB			30 ϕ^D 12.6	30 12	ϕ^b 6

说明：参照国标《先张法预应力混凝土管桩》和四川省工程建设标准设计 DBJT20-60 以及住建部行业标准《预应力混凝土管桩技术规程》，本规程仅保留非预应力钢筋沿其周边均匀布置的 I 型，不保留仅在受拉和受压区布置非预应力钢筋的 II 型，故 PRC 管桩不分型号。

另外，抛弃 GB 预应力最小配筋面积的说法，明确预应力配筋根数，和 N-M 曲线及各种检查数据相对应。

4.2.2 管桩的长度应包括桩身和接头。

4.3 管桩材料

4.3.1 管桩的混凝土质量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 的规定，并按上述标准的规定进行检验；性能指标按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 取值。

说明：PRC 管桩的混凝土与 PHC 相同，仅改变钢筋配置来改善性能。

4.3.2 水泥宜采用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

说明：《通用硅酸盐水泥》替代了《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥》和《复合硅酸盐水泥》三个标准。

4.3.3 骨料应符合下列规定：

1 细骨料宜采用洁净的天然硬质中粗砂或人工砂，细度模数宜为 2.5~3.2，采用人工砂时，细度模数可为 2.5~3.5，其质量应符合《建设用砂》GB/T 14684 的有关规定，且砂的含泥量不应大于 1.0%，不得有泥块。氯离子含量不得大于 0.01%，硫化物及硫酸盐含量不得大于 0.5%。

2 粗骨料宜采用碎石或破碎的卵石，其最大粒径不应大于 25mm，且不得超过钢筋净距的 3/4，其质量应符合《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的有关规定，且石的含泥量不应大于 0.5%，不得有泥块，硫化物及硫酸盐含量不得大于 0.5%，针片状颗粒含量不得大于 5%。

3 对于有抗冻、抗渗、抗腐蚀或其它特殊要求的管桩，其所用的骨料应符合相关标准的有关规定。

说明：从 4.3.3 至 4.3.8 条都结合地标、国标、图集等内容共同确定。

4.3.4 钢材应符合下列要求：

1 预应力钢筋应采用 35 级延性的低松弛预应力混凝土用螺旋槽钢棒，其质量应符合《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 中的相关规定。预应力混凝土钢棒的几何特性及力学性能应分别符合表 4.3.4-1、表 4.3.4-2 的规定。

表 4.3.4-1 低松弛螺旋槽钢棒（PCB-L-HG）的几何特性

公称直径 (mm)	基本直径及允许 偏差 (mm)	公称横截面积 (mm ²)	理论重量 (kg/m)
7.1	7.25±0.15	40.0	0.314
9.0	9.25±0.20	64.0	0.502

10.7	11.10±0.20	90.0	0.707
12.6	13.10±0.20	125.0	0.981
14.0	14.15±0.25	154.0	1.209

表 4.3.4-2 低松弛螺旋槽钢棒（PCB-L-HG）的力学性能

规定非比例 延伸强度 (MPa)	抗拉强度 标准值 (MPa)	抗拉强度 设计值 (MPa)	抗压强度 设计值 (MPa)	断后 伸长率 (%)	弹性模量 (MPa)	1000h 松弛值 (%)
≥1280	≥1420	960	400	≥7	2.0×10^5	≤2.0

注：断后伸长率取 $L_0 = 8D_n$

说明：《桥规 JTG 3362》条文说明 3.2.2、3.2.3 中“钢绞线和钢丝的抗拉强度标准值，取自现行国家标准的规定，钢绞线和钢丝的条件屈服点为其抗拉强度的 0.85 倍，考虑《桥规 JTJ 023—85》钢绞线和钢丝的安全系数在设计强度的基础上再取 1.25，因此，本规范钢绞线和钢丝的抗拉强度设计值取为 $f_{fd} = f_{fk} \times 0.85/1.25 = f_{fk}/1.47$ ，即将其抗拉强度标准值除以材料分项系数 $\gamma_{fp} = 1.47$ 而得”。《预应力混凝土用钢棒》（GB/T 5223.3）中规定低松弛螺旋槽钢棒的非比例延伸强度（即条件屈服点强度）是设计强度的 0.9 倍。

本规程属于公路桥梁领域的团体标准，选择延续桥规的相关规定；抗拉强度标准值 1420MPa，图集中设计强度 1000MPa，本规程为 960MPa。

2 非预应力钢筋应采用 HRB400 钢筋，其质量应符合《钢筋混凝土用钢第二部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 中的相关规定；性能指标按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 取值。

3 螺旋箍筋宜采用低碳钢热轧圆盘条、混凝土制品用冷拔低碳钢丝，其质量应分别符合《低碳钢热轧圆盘条》GB/T 701、《混凝土制品用冷拔低碳钢丝》JC/T 540 的有关规定。用冷拔低碳钢丝作螺旋箍筋，其力学性能应符合表 4.3.4-3 的规定。

表 4.3.4-3 冷拔低碳钢丝的力学性能

符号	钢筋抗拉强度 标准值 (MPa)	钢筋抗拉强度 设计值 (MPa)	断后伸长率 A100 (%)	180° 反复弯曲 次数	弹性模量 (MPa)
ϕ^b	≥550	320	≥2.5	≥4	2.0×10^5

说明：抗拉强度设计值 320MPa 按住建部行业标准《冷拔低碳钢丝应用技术规程》（JGJ 19—2010）第 3.2.1 条规定采用。

4 管桩一般可不设端部锚固钢筋，当需要设置端部锚固钢筋时，锚固钢筋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/T 701、《钢筋混凝土用钢第二部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 中的相关规定。

5 端板应采用不低于 Q235B 的钢板，其性能应符合《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 的规定，不得采用铸造工艺生产的端板。桩套箍的力学性能应符合《碳素结构钢》GB/T 700 中 Q235 的规定。

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

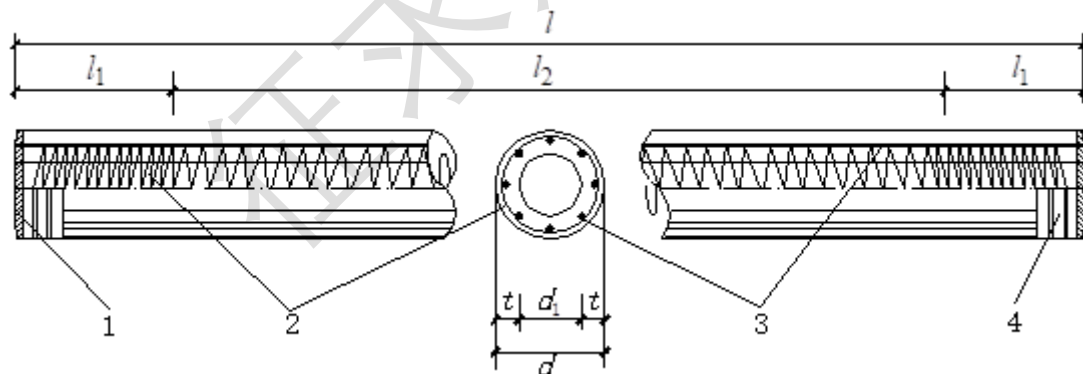
4.3.6 外加剂应经过试验验证，其质量应符合《混凝土外加剂》GB 8076 的规定，严禁使用氯盐类外加剂。

4.3.7 掺合料宜采用硅砂粉、矿渣微粉、粉煤灰或硅灰等，硅砂粉的质量应符合《预应力高强混凝土管桩用硅砂粉》JC/T 950 中的有关规定，矿渣微粉的质量不低于《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 中 S95 级的有关规定，粉煤灰的质量不低于《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 中 II 级 F 类的有关规定，硅灰的质量应符合《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 中的有关规定。当采用其他品种的掺合料时，应通过试验确定，确认符合管桩混凝土质量要求后，方可使用。

4.3.8 对腐蚀及特殊要求环境下的管桩，应对其原材料、混凝土配合比和生产工艺等相关技术进行控制，并采取相应的有效措施。

4.4 管桩构造

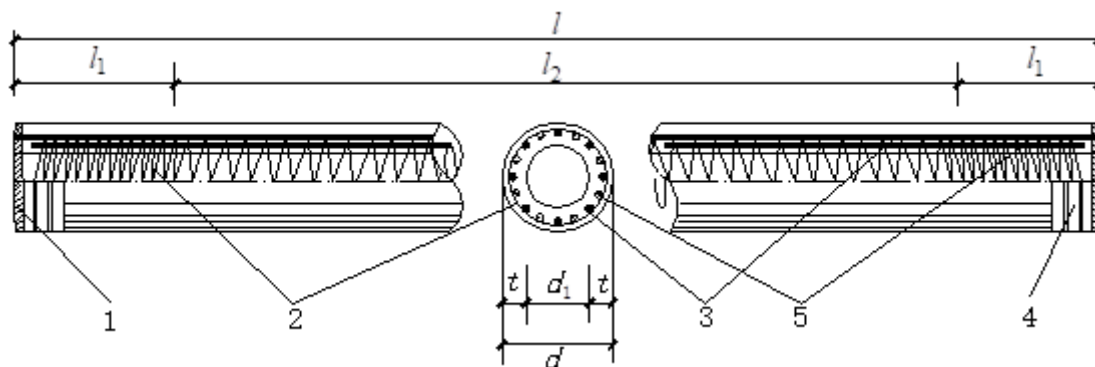
4.4.1 PHC 管桩的结构形式（图 4.4.1）。



t —壁厚； l —桩长； d —管桩外径； d_1 —管桩内径； l_1 —桩端加密区长度；
 l_2 —非加密区长度；1—端板；2—螺旋筋；3—预应力钢棒；4—桩套箍

图 4.4.1 PHC 管桩的结构形式

4.4.2 PRC 管桩的结构形式（图 4.4.2）。



t —壁厚； l —桩长； d —管桩外径； d_1 —管桩内径； l_1 —桩端加密区长度；
 l_2 —非加密区长度；1-端板；2-螺旋筋；3-预应力钢棒；4-桩套箍；5-非预应力钢筋
 图 4.4.2 PRC 管桩的结构形式

说明：4.4.1 条和 4.4.2 条内容参考 GB/T 13476、安徽省地标和住建部行标。

4.4.3 管桩钢筋骨架应符合下列规定：

- 1 预应力钢筋和非预应力钢筋应沿桩横截面圆周均匀配置，预应力钢筋的最小配筋率不宜低于 0.5%，间距允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ；
- 2 螺旋筋的直径不应小于表 4.4.3 的规定；

表 4.4.3 螺旋筋的直径

管桩外径 D (mm)	管桩型号	螺旋筋直径 (mm)	管桩外径 D (mm)	管桩型号	螺旋筋直径 (mm)
600	A、AB、B、C、D	5	1000~1200	C	8
800	A、AB、B、C	6	1400	A、AB	7
1000~1200	A、AB、B	6	1400	B、C	8

注：螺旋筋的直径不得有负偏差。

- 3 螺旋筋的螺距应符合下列规定：管桩两端 2000mm 范围内螺旋筋的螺距应为 45mm；其余部分螺旋筋的螺距应为 80mm；
- 4 螺距的允许偏差均为 $\pm 5\text{mm}$ 。

说明：参照 GB/T 13476。

4.4.4 管桩钢筋的混凝土保护层厚度应符合下列要求：

- 1 钢筋的混凝土保护层厚度应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的相关规定；
- 2 用于特殊环境下的管桩，保护层厚度应符合相关标准的规定。

说明：参考交通部 JTG 3362 和安徽省地标 DB34/5005。

4.4.5 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设计壁厚；
- 2 接头的端面必须与桩身的轴线垂直，其允许偏差应为 $\pm 0.5\%D$ （ D 为管桩外径）；
- 3 接头的焊接坡口尺寸应按国家现行焊接规范执行。

说明：安徽省地标 DB34/5005。

4.4.6 端板最小厚度应符合表 4.4.6 的规定，且不得有负偏差。除焊接坡口、桩套箍连接槽、预应力钢筋挂筋孔、消除焊接应力槽、机械连接孔外，端板表面应平整，不得开槽和打孔。

表 4.4.6 端板最小厚度

钢棒直径（mm）	9.0	10.7	12.6	14.0
端板最小厚度（mm）	18	20	24	28

说明：参考 GB/T 13476、安徽省地标 DB34/5005、河北省地标 DB13(J)/T 105 等。

4.4.7 管桩的常用接头形式有焊接接头和抱箍式机械连接接头。

说明：参考河北省地标 DB13(J)/T 105。

4.4.8 桩尖应根据地质条件和设计要求选用。腐蚀环境下的管桩应设置桩尖，桩端持力层为强（全）风化岩时应设置桩尖。常用管桩桩尖分为平底十字形钢桩尖、尖底十字形钢桩尖和开口形钢桩尖等，可按附录 I 选用。

说明：参考辽宁省地标 DB21/T1565。

5 桥梁地质勘察

5.1 工程勘察

5.1.1 公路工程地质勘察应评价桥位处对管桩使用的适宜性，并提出相应的使用建议。

1 详细调查工程场地周围环境，分析评价管桩的适宜性及其沉桩可能产生的环境影响；

2 详细查明影响管桩沉桩的地层分布、岩土分类、工程特征等，并评价其对沉桩可能产生的影响；

3 详细查明工程场地中的水和土对管桩及连接件的腐蚀性；

4 详细查明工程场地的水文地质条件，分析沉桩可能产生的超孔隙水压力及其对邻桩的影响。

说明：进行地质勘察的时候，需要结合沉桩的特点，细化勘察内容。

5.1.2 管桩基础工程地质勘察，除应执行《公路工程地质勘察规范》JTG C20 的有关规定外，尚应符合本规程的规定。

说明：参考辽宁省地标。

5.1.3 根据土层特点应优先布置一定比例的静力触探对比孔，也可采用标准贯入试验或重型动力触探估算桩周土的侧摩阻力、桩端土端阻力和其他有关的设计参数。圆锥动力触探锤击数应根据规范进行修正。

说明：参考《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）和辽宁省地标。根据《公路工程地质勘察规范》中桥梁工程地质勘察要求，桥梁墩台勘探点应为钻孔；而静力触探对沉桩更有指导意义，故建议布置一定比例的对比孔。

5.1.4 静力触探试验适用于软土、一般粘性土、粉土、砂土和含少量碎石的土，静力触探试验应符合国家、行业现行相关标准的有关规定。

说明：参考安徽省地标。

5.1.5 采用标准贯入试验除应符合国家现行相关标准的规定外，尚应符合下列规定：

1 勘探孔深度范围内的每一土层，包括全风化、强风化岩层，均应进行标准贯入试验，

其中遇中密-密实砂层、硬塑-坚硬粘性土层、残积土层及全风化岩层时，宜沿深度方向每2m测试一次，拟作为桩端持力层的土（岩）层宜每1m测试一次；

2 在拟作为桩端持力层的土（岩）层中进行标准贯入试验时，当锤击数已达到50击而贯入深度不足30cm时，可终止试验。

说明：参考安徽省地标、四川省地标等。

5.1.6 遇水软化的基岩应进行软化试验。

说明：参考四川省地标。

5.1.7 结构性较强的饱和黏性土、粉土应测定其灵敏度。

说明：参考四川省地标。

5.1.8 勘探孔深度宜达到预计桩端平面以下3~5倍桩径，且不得小于3m；外径不小于800mm时，应达到预计桩端平面5m以下深度；持力层中存在软弱夹层时，应穿透夹层；当遇断层破碎带时，应钻穿断层破碎带进入相对稳定土层不小于4m；对膨胀土、遇水易软化岩石以及沉桩破坏岩土结构性且不易恢复的岩土层，应深入桩端平面以下不小于10m。

说明：灌注桩的钻孔要比管桩的钻孔更长，需要设计方根据项目特点进一步给出控制原则，本条设计人员可参考。

5.2 勘察报告

5.2.1 管桩基础的岩土工程勘察报告应符合《公路工程地质勘察规范》JTG C20的相关规定，应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和地质条件等情况编写。

5.2.2 详细勘察报告应包括以下内容：

- 1 勘察目的、任务要求和依据的技术标准；
- 2 对工程概况、场地位置、地形及地貌的描述，对构造物场地及其周边高压架空线、地下管线及地下构筑物分布的描述；
- 3 勘察方法和勘察工作布置；
- 4 对构造物场地的不良地质现象，如孤石、坚硬夹层、岩溶、土洞、地面塌陷、构造断裂的分布及成因、岩面坡度对桩稳定性的影响等，有明确的判断结论；
- 5 场地的区域地质条件和工程地质条件，如场地地层、构造、岩层产状、岩土性质和均匀性评价，有关地基土冻胀性、融沉性、湿陷性、膨胀性评价；
- 6 地下水类型、稳定水位埋深、标高及其变化幅度；

- 7 场地地下水、土对管桩腐蚀性评价的结论；
- 8 岩土物理力学性能指标特征值、平均值或标准值，当桩端为黏性土、粉土时，应提供高压固结曲线；
- 9 静力触探、重型动力触探、标准贯入试验成果，静力触探成果应包括实测贯入曲线；
- 10 桩基设计参数及桩端持力层建议，并预估单桩承载力特征值；
- 11 当桩端持力层为残积土、软岩及非饱和黏性土时，应对持力层遇水软化的影响进行评价；
- 12 当采用强风化、中风化基岩作为桩端持力层时，应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度，并确定其坚硬程度、完整程度，判定有无洞穴、临空面、破碎岩体或软弱岩层；
- 13 沉桩可行性评价，挤土效应评价，桩基施工方法及桩基施工中应注意的问题建议；
- 14 对饱和软土场地，应分析沉桩引起的超孔隙水压力及其影响，并提出可行的防治措施建议；
- 15 桩基施工与周围环境的相互影响，对周边环境复杂的场地，应提出施工监测的建议；
- 16 抗震设防区应对抗震有利、一般、不利和危险地段做出综合评价，提出建造场地类别，按地震烈度提供液化土层分布和判定资料；
- 17 附图表包括：勘探点平面布置图、工程地质剖面图、钻孔柱状图等必要的图表及岩芯彩色照片等。

说明：参考各标准并结合自己的理解拟定，如果有专业地勘人员结合沉桩施工工艺给予修订，就更能保证其条文质量。

6 桩身结构强度计算

6.1 一般规定

6.1.1 管桩应对桩身结构进行承载能力极限状态、正常使用极限状态设计验算。

说明：承载能力极限状态和正常使用极限状态设计，与《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）第 4.1.4 条要求一致。

6.1.2 结构分析采用的模型和基本假定，应能反应管桩实际受力状态，其精度应能满足结构设计要求。

说明：6.1.6 条中建议采用《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）附录 P “按 m 法计算弹性桩水平位移及作用效应” 进行计算。

6.1.3 桩基设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力，应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和本规程的相关规定计算：

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容许值。

2 计算桩基结构承载力、确定尺寸和配筋时，应采用荷载效应基本组合。当进行桩身裂缝控制验算时，应采用荷载效应频遇组合。

3 桩基结构设计安全等级、结构设计使用年限和结构重要性系数 γ_0 应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定采用。

4 对桩基结构进行抗震验算应按《公路工程抗震规范》JTG B02 和《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01 相关规定执行。

5 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、风载效应的标准组合。

6 验算坡地、岸边构造物桩基的整体稳定性时，应采用荷载效应标准组合；

7 当本条规定与现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 及《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 不符时，按现行公路桥涵相关规范执行。

说明：基于当前管桩构件的生产和施工机械，建议采用 600mm 和 800mm 管桩，那么就需要多根管桩来代替一根灌注桩。做构造设计时，首先确定桩数和布桩，采用标准值组合进行计算；拟定构造后，再进行结构的相关验算。本条参考了黑龙江地标的相关规定并有

所修改。

6.1.4 管桩构件的承载能力极限状态验算采用下列表达式：

$$\gamma_0 S \leq R$$

$$R = R(f_d, a_d)$$

式中： γ_0 ——桥涵结构重要性系数，按桥涵结构设计安全等级，一级、二级、三级分别取用 1.1、1.0、0.9，桥涵结构设计安全等级应符合《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定；

S ——作用组合的效应设计值，按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定，对持久设计状况应按作用基本组合计算；

R ——构件承载力设计值；

$R(\cdot)$ ——构件承载力函数；

f_d ——材料强度设计值；

a_d ——几何参数设计值。

说明：本条规定继承于《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）第 5.1.2 条；管桩的安徽省地标第 5.1.4 条有类似规定。

6.1.5 公路桥梁管桩基础，其入土深度宜满足弹性长桩条件：

$$L_t \geq \frac{2.5}{\sqrt[5]{\frac{mb_1}{EI}}}$$

$$EI = 0.8E_c I$$

当 $d \geq 1.0m$ ：

$$b_1 = 0.9k(d + 1)$$

当 $d < 1.0m$ ：

$$b_1 = 0.9k(1.5d + 0.5)$$

式中： L_t ——桩的入土深度（m）；

E_c ——管桩混凝土的弹性模量；

I ——桩毛截面的惯性矩；

m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数（kN/m⁴）；

b_1 ——桩的计算宽度（m）， $b_1 \leq 2d$ ；

d ——桩径（m）；

k ——平行于水平力作用方向的桩尖相互影响系数，按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 附录 P 计算取值。

说明：本条规定来源《港口工程桩基规范》（JTS 167）和《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）。

6.1.6 公路桥梁管桩基础承受水平力或力矩作用的弹性长桩，其桩身内力和变形的确定应符合下列规定：

1 桩身内力和变形可按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 附录 P “按 m 法计算弹性桩水平位移及作用效应” 或其它可靠方法计算。

2 必要时采用的计算参数应根据水平静载试验确定。

说明：参考《港口工程桩基规范》(JTS 167)。设计计算时可采用 m 法用程序模拟土的弹性约束，且应校核最大位移值不超过相关规定。

6.1.7 当对管桩进行群桩静载试验时，应与单桩静载试验相比较，确定群桩计算参数和水平承载力。

说明：参考《港口工程桩基规范》(JTS 167)。群桩基础：港口工程规范中，对 m 值进行折减；《公路桥涵地基与基础设计规范》中，是对桩的计算宽度进行折减。本规程选择了公路桥梁规范中的方式。

6.1.8 管桩基础混凝土部分的耐久性应满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 耐久性设计相关要求；外露的钢构件、焊缝等应满足《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 钢桩防腐处理的相关规定。

说明：本规程提供的管桩部分，混凝土保护层厚度、混凝土标号等都满足桥规的相关规定；对于一般技术人员更担心管桩外露钢构件部位的防腐问题，可按桥梁用钢桩的相关防腐规定执行。因为桥梁的设计寿命是 100 年，比房建的基准寿命 50 年要长，所以防腐问题也需要给予足够的关注。另外，港口工程中也有预制管桩使用，特殊情况下的腐蚀可以特殊设计。

6.2 轴力计算

6.2.1 管桩与承台相连时，承台作用于单桩顶面的竖向力设计值可按下列公式计算：

$$N_{id} = \frac{F_d}{n} \pm \frac{M_{xd}y_i}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_{yd}x_i}{\sum x_i^2}$$

式中： N_{id} ——第 i 根桩承台作用于桩顶面的竖向力设计值；

F_d ——由承台底面以上的作用组合产生的竖向力设计值；

M_{xd} 、 M_{yd} ——由承台底面以上的作用组合绕通过桩群形心的 x 轴、 y 轴的弯矩设计值；

n ——承台下面桩的总根数；

x_i 、 y_i ——第 i 排桩中心至 y 轴、 x 轴的距离。

说明：《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 第 8.5.1 条，给出了计算桩作用于承台底面的竖向力计算公式，根据力的相互作用，可知即为承台作用于桩顶面的竖向力。且与管桩各规范的计算公式本质相同。

6.2.2 对于轴心受压的管桩基础，其正截面抗压承载力应符合下列规定：

$$R = 0.7\varphi(f_{cd}A + f'_{sd}A'_s)$$

式中： R ——桩身轴心受压承载力设计值；

φ ——轴压构件稳定系数，当桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层时考虑压屈影响，可按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 表 5.3.1 取值；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值；

A ——管桩桩身截面面积；

f'_{sd} ——普通钢筋抗压强度设计值；

A'_s ——全部纵向普通钢筋的截面面积。

说明：根据 JTG 3362 第 5.3.1 条并结合管桩标准图集进行修改而成。系数 0.7 来自 C80 混凝土设计抗压强度 34.6MPa，C 型管桩混凝土预应力 10MPa，有 $(34.6-10)/34.6=0.7$ 。

如果再参考黑龙江地标 DB23/T 2237，此处采用 $R = 0.85\varphi(f_{cd}A + f'_{sd}A'_s - \sigma_{ce}A)$ 可能更合适，充分考虑了不同混凝土预加应力值的影响；对于 B、C 类桩正截面抗压承载力更低，与 AB 类桩基本一致，A 类桩承载力有提高；整体安全度更协调。

江苏省地标是安全度最高的“ $R_p = 0.7(f_{cd} - \sigma_{ce})A$ ”。

6.2.3 对于受拉的管桩结构，普通钢筋与端板穿孔塞焊且满足钢筋搭接长度要求时，桩身轴心受拉承载力设计值可按下列公式计算：

$$T = C(f_{sd}A_s + f_{pd}A_p)$$

式中： T ——桩身轴心受拉承载力设计值；

C ——考虑预应力钢筋墩头与端板连接处受力不均匀等因素的影响而取的折减系数， $C=0.85$ ；

f_{sd} ——普通钢筋的抗拉强度设计值；

A_s ——全部纵向普通钢筋截面面积；

f_{pd} ——预应力钢筋的抗拉强度设计值；

A_p ——全部纵向预应力钢筋截面面积。

说明：根据 JTG 3362 第 5.4.1 条并结合管桩标准图集进行修改而成。系数 0.85 来自管桩标准图集。

6.2.4 桩身轴心正截面抗裂拉力设计值可按下列公式计算：

$$T_k = \sigma_{ce} A_0$$

式中：\$T_k\$——桩身轴心正截面抗裂拉力设计值；

\$\sigma_{ce}\$——混凝土有效预压应力，计算方法见附录 J；

\$A_0\$——管桩换算截面面积，\$A_0 = A + [(E_p/E_c) - 1]A_p\$；

\$E_p\$、\$E_c\$——预应力钢筋、混凝土的弹性模量。

说明：公式采用图集公式，且与住建部行标 JGJ/T 406 一致。正截面受拉抗裂公式，不计混凝土抗拉性能计算结果是安全的。

6.3 弯矩计算

6.3.1 PHC 管桩桩身正截面受弯承载力设计值可按下列公式计算：

$$M = \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{pd} A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{pd} - \sigma_{p0}) A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi}$$

$$\alpha = \frac{f_{pd} A_p}{\alpha_1 f_{cd} A + f'_{pd} A_p + 1.5(f_{pd} - \sigma_{p0}) A_p}$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$$

式中：\$M\$——桩身正截面受弯承载力设计值；

\$\alpha_1\$——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值的比例系数；当混凝土等

级不超过 C50 时，\$\alpha_1\$ 取为 1.0，当混凝土等级为 C80 时，\$\alpha_1\$ 取为 0.94，其间按线性内插法确定；

\$r_1\$、\$r_2\$——管桩截面的内外半径；

\$\alpha\$——受压区混凝土截面面积与全截面截面面积的比值；

\$f_{pd}\$、\$f'_{pd}\$——预应力筋抗拉、抗压强度设计值；

\$A_p\$——全部纵向预应力钢筋截面面积。

\$r_p\$——纵向预应力筋重心所在圆周的半径；

\$\sigma_{p0}\$——预应力筋截面重心处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力，计算方法见

附录 J；

\$\alpha_t\$——纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值，当 \$\alpha\$ 大于 2/3 时，取

α_t 为0。

说明：针对管桩图集和 GB 50010 规范的计算公式的差异进行了分析，选择采用 GB 50010 相关公式并按 $N=0$ 推导出本公式。

6.3.2 PRC 管桩桩身正截面受弯承载力设计值可按下列公式计算：

$$M = \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{pd} A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{pd} - \sigma_{p0}) A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{(\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t)}{\pi}$$

$$\alpha = \frac{f_{pd} A_p + f_{sd} A_s}{\alpha_1 f_{cd} A + f'_{pd} A_p + 1.5(f_{pd} - \sigma_{p0}) A_p + 2.5 f_{sd} A_s}$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$$

式中： M ——桩身正截面受弯承载力设计值；

f_{sd} ——普通钢筋的抗拉强度设计值；

A_s ——全部纵向普通钢筋截面面积；

r_s ——纵向普通钢筋重心所在圆周的半径；

说明：根据住建部行业标准 JGJ/T 406，以及 GB 50010 的 E.0.3 条普通钢筋构件和预应力钢筋构件公式来合并。

6.3.3 管桩桩身正截面受弯承载力极限值 M_u 的计算：按 6.3.1、6.3.2 条相关公式进行计算，但公式中“ f_{cd} 、 f_{sd} 和 f_{pd} ”改用混凝土轴心抗压强度标准值“ f_{ck} ”、普通钢筋抗拉强度标准值“ f_{sk} ”和预应力钢筋抗拉强度标准值“ f_{pk} ”。

说明：根据管桩图集和《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 管桩抗弯试验需要制定本条规定。住建部行标 JGJ/T 406 中给出的值是根据实际配筋按相同公式计算结果编制，本规程结果也根据实际配筋，对管桩质量要求更高，确保使用安全。

6.3.4 管桩正截面抗裂弯矩设计值可按下列公式计算：

$$M_k = (\sigma_{ce} + \gamma f_{td}) W_0$$

$$W_0 = 2I_0 / D$$

$$I_0 = \frac{\pi(r_2^4 - r_1^4)}{4} + \frac{\left[\left(\frac{E_p}{E_c}\right) - 1\right] A_p r_p^2}{2} + \frac{\left[\left(\frac{E_s}{E_c}\right) - 1\right] A_s r_s^2}{2}$$

式中： M_k ——桩身正截面抗裂弯矩设计值；

σ_{ce} ——混凝土有效预压应力，计算方法见附录 J；

γ ——考虑离心工艺影响及截面抵抗矩塑形影响的综合系数，对 C80 取 $\gamma=1.9$ ；

f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

W_0 ——换算截面的弹性抵抗矩。

说明：公式来源管桩标准图集，行标 JGJ/T 406 惯性矩 I_0 计算公式错误，其他基本相同。套用公式计算，计算结果与行标 JGJ/T 406 接近（说明只是公式错误）。

6.3.5 管桩正截面开裂弯矩检验值 M_{cr} 的计算：按 6.3.4 条相关公式计算，但公式中的混凝土轴心抗压强度设计值“ f_{td} ”改用混凝土轴心抗压强度标准值“ f_{tk} ”。

说明：标准图集里面，检验值居然小于设计值，明显是不合适的。其他规范也未见合理的划分，所以本规范设计值用混凝土的强度设计值，检验值用混凝土强度标准值，这样检验值高，设计值低，符合设计习惯。

6.4 剪力计算

6.4.1 管桩与承台相连时，承台作用于单桩顶面的水平力设计值可按简化公式计算：

$$H_{id} = \frac{H_d}{n}$$

式中： H_{id} ——第 i 根桩承台作用于桩顶面的水平力设计值；

H_d ——由承台底面以上的作用组合产生的水平力设计值；

n ——承台下面桩的总根数。

说明：住建部行标、江苏省地标、安徽省地标、辽宁省地标、四川省地标和黑龙江省地标都是此简算公式。

6.4.2 管桩桩身横向受剪承载力设计值可按下列公式计算：

$$V = \frac{tI}{S_0} \sqrt{(\sigma_{ce} + 1.4f_{td})^2 - \sigma_{ce}^2}$$

$$I = \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$

$$S_0 = \frac{2}{3} (r_2^3 - r_1^3)$$

式中： V ——桩身横向受剪承载力设计值；

t ——管桩壁厚；

I ——管桩截面对中心轴的惯性矩；

S_0 ——管桩半个圆环的面积对中心轴的面积矩；

f_{td} ——混凝土轴心抗拉强度设计值。

说明：目前，普遍采用的管桩抗剪承载力计算公式是本公式。住建部行业标准 JGJ/T 406

第 5.2.17 条对此进行了细化, 包含了管桩斜截面受剪承载力设计值、管桩截桩部位斜截面受剪承载力设计值、填芯后管桩斜截面受剪承载力设计值和截桩部位填芯后管桩斜截面受剪承载力设计值; 截桩不填芯的抗剪承载力设计值是最低的, 其次就是管桩斜截面受检承载力设计值, 填芯后的抗剪承载力最高。桥梁工程实际使用中, 截桩部位会在与承台连接的部位, 肯定要浇筑填芯混凝土。再根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 第 6.3.15 条计算受剪承载力, 本公式计算结果是最小最安全的。同时 6.4.1 条是简算, 算出的单桩水平力设计值是偏小偏不安全的, 故综合考虑还是采用目前普遍的管桩抗剪承载力计算公式。

6.4.3 管桩开裂剪力检验值 V_{cr} 的计算: 按 6.4.2 条相关公式进行计算, 但公式中“ f_{td} ”改用混凝土轴心抗拉强度标准值“ f_{tk} ”。

说明: 根据管桩图集和《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 管桩抗剪试验需要制定本条规定。

6.5 偏心受压计算

6.5.1 桥梁管桩基础偏心距可按下列公式计算:

$$\begin{aligned} e_i &= e_0 + e_a \\ e_0 &= M_d / N_d \end{aligned}$$

式中: e_i ——初始偏心距;

e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距;

e_a ——附加偏心距, 取 20mm 和偏心方向截面最大尺寸的 1/30 两者中的较大者;

M_d ——按本规程 6.1.6 条计算的弯矩设计值;

N_d ——按本规程 6.1.6 条计算的轴向力设计值。

说明: 管桩的相关规范都考虑了附加偏心矩和偏心距增大系数。《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 第 5.3.8 条仅考虑了偏心距增大系数, 未考虑附加偏心距; 偏心距增大系数中仅当 $e_0 < e_a$ 时, 取 $e_0 = e_a$ 。考虑桩基的施工允许偏差大于墩柱的施工允许偏差, 且与管桩相关规范统一后安全储备更高一些, 且 N-M 曲线才能一致, 故依然规定规定偏心距包含附加偏心距。

6.5.2 对于偏心受压的 PHC 管桩基础, 桩身正截面受压承载力应符合下列规定:

$$\begin{aligned} N &= \alpha \alpha_1 f_{cd} A - \sigma_{p0} A_p + \alpha f'_{pd} A_p - \alpha_t (f_{pd} - \sigma_{p0}) A_p \\ M &= \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f'_{pd} A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha}{\pi} + (f_{pd} - \sigma_{p0}) A_p r_p \frac{\sin \pi \alpha_t}{\pi} - N e_a \end{aligned}$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$$

式中： N ——桩身轴向受压承载力设计值；

M ——对应已知的桩身轴向受压承载力设计值 N ，桩身的受弯承载力设计值；

α ——受压区混凝土截面面积与全截面截面面积的比值；

α_1 ——混凝土矩形应力图的应力值与轴心抗压强度设计值的比例系数；当混凝土等级不超过 C50 时， α_1 取为 1.0，当混凝土等级为 C80 时， α_1 取为 0.94，其间按线性内插法确定；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值；

A ——管桩桩身环形截面面积；

σ_{p0} ——预应力筋截面重心处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力，计算方法见附录 J；

A_p ——全部纵向预应力钢筋的截面面积；

f_{pd} 、 f'_{pd} ——预应力筋抗拉、抗压强度设计值；

α_t ——纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值，当 α 大于 2/3 时，取 α_t 为 0。

r_1 、 r_2 ——管桩截面的内外半径；

r_p ——纵向预应力筋重心所在圆周的半径；

说明：1、通过验算公式采用了 GB 50010 的规定；2、直接引入 $N-M$ 曲线的绘制公式。

6.5.3 对于偏心受压的 PRC 管桩基础，桩身正截面受压承载力应符合下列规定：

$$N = \alpha\alpha_1f_{cd}A - \sigma_{p0}A_p + \alpha f'_{pd}A_p - \alpha_t(f_{pd} - \sigma_{p0})A_p + (\alpha - \alpha_t)f_{sd}A_s$$

$$M = \alpha_1f_{cd}A(r_1 + r_2)\frac{\sin\pi\alpha}{2\pi} + f'_{pd}A_p r_p \frac{\sin\pi\alpha}{\pi} + (f_{pd} - \sigma_{p0})A_p r_p \frac{\sin\pi\alpha_t}{\pi} + f_{sd}A_s r_s \frac{(\sin\pi\alpha + \sin\pi\alpha_t)}{\pi} - Ne_a$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$$

式中： f_{sd} ——普通钢筋的抗拉强度设计值；

A_s ——全部纵向普通钢筋截面面积；

r_s ——纵向普通钢筋重心所在圆周的半径。

说明：根据住建部行业标准 JGJ/T 406 和 GB 50010 综合确定。

6.5.4 根据本规程 6.5.2 和 6.5.3 规定绘制的各规格管桩偏心受压 $N-M$ 曲线见“附录 D 管桩偏心受压 $N-M$ 曲线”；管桩构件偏心受压承载能力极限状态验算采用内力的形式表达

时,应采用下列表达式:

$$\gamma_0 \eta M_d \leq M(N_d)$$

式中: γ_0 ——桥涵结构重要性系数,按桥涵结构设计安全等级,一级、二级、三级分别取用 1.1、1.0、0.9,桥涵结构设计安全等级应符合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)的规定;

M_d ——按本规程 6.1.6 条计算的弯矩设计值;

N_d ——按本规程 6.1.6 条计算的轴向力设计值;

$M(\cdot)$ ——本规程 6.5.2、6.5.3 条规定的函数;

η ——偏心受压构件的轴向力承载能力极限状态偏心距增大系数。

计算管桩桩身偏心受压正截面受压承载力时,可不考虑偏心距的增大影响,取 $\eta = 1$;但对于使用期间管桩露出地面、桩身穿越可液化土或不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层的基桩,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。偏心距增大系数 η 的具体计算方法按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 相关规定执行。

说明: 1、 η 的具体计算方法规定按《桥规》执行。2、通过 N-M 曲线可知,对于某一确定的 M 值来说,并不是 N 越小越安全,所以 GB50010 中 E.0.3 条公式的表达存在一定缺陷。修改后,每个确定的 N 值,要求对应的弯矩值考虑结构重要性系数和偏心距增大系数后,仍可满足该轴力值下构件所能承受的最大弯矩值,可解决原公式的缺陷并与 6.1.4 条大原则表达式一致。

6.6 细部计算

6.6.1 对于受压管桩与承台连接,填芯混凝土材料及其构造满足本规程相关规定时,填芯混凝土内配置的竖向主筋应符合下列规定:

$$N = \alpha \alpha_1 f_{cd} A \left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha}{2\pi\alpha} \right) + (\alpha - \alpha_t) f_{sd} A_s$$

$$M = \frac{2}{3} \alpha_1 f_{cd} A r \frac{\sin^3 \pi\alpha}{\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{\sin \pi\alpha + \sin \pi\alpha_t}{\pi} - N e_a$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha$$

$$\gamma_0 \eta M_d \leq M(N_d)$$

式中: f_{cd} ——填芯混凝土轴心抗压强度设计值;

A ——管桩桩身和填芯混凝土组成的圆截面面积;

f_{sd} ——填芯混凝土内配置的竖向主筋抗拉强度设计值;

A_s ——填芯混凝土内配置的全部纵向普通钢筋的截面面积;

r ——管桩截面的外半径；

r_s ——填芯混凝土内配置的纵向普通钢筋重心所在圆周的半径。

说明：1、管桩采用沉桩工艺进行施工时截桩是难以避免的，为了确保桥梁安全统一采用填芯混凝土内配置竖向连接主筋的方式进行连接；与住建部行标 JGJ/T 406 的受压管桩与承台连接方式一致。2、该公式参考了《桥规》（JTG 3362）第 5.3.8 条和 GB 50010 的 E.0.4 条，按普通钢筋混凝土偏心受压构件验算。

6.6.2 承受竖向上拔力作用的管桩细部应进行端板孔口抗剪强度、接桩连接强度、桩顶填芯混凝土与承台连接处强度等验算，并与管桩抗拉强度、抗裂强度等按最不利处的抗拉强度确定管桩的抗拉承载力。

1 根据管桩端板锚固孔抗剪强度验算单桩抗拉承载力时（图 6.6.2），应按下式进行计算：

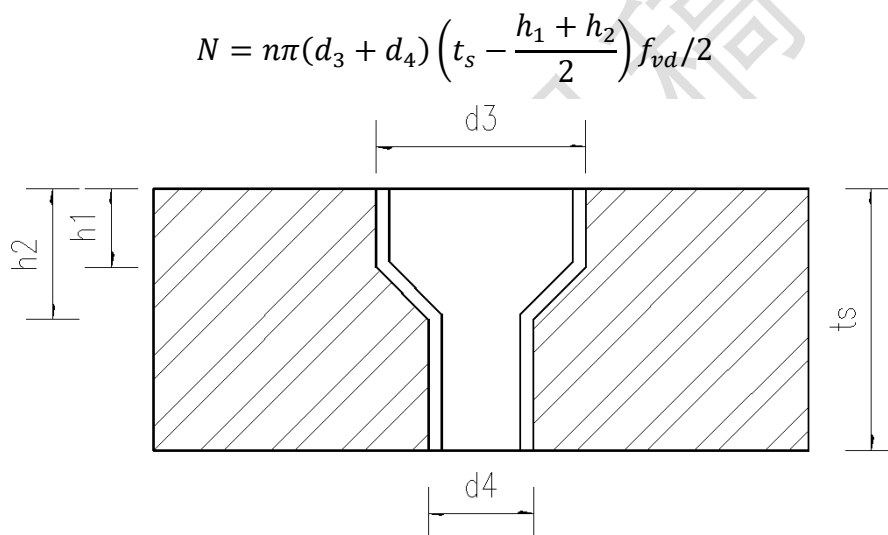


图 6.6.2 端板与预应力钢筋连接示意图

式中： N ——管桩端板锚固孔单桩受拉承载力设计值；

n ——预应力钢筋根数；

d_3 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口直径（mm）；

d_4 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口直径（mm）；

t_s ——端板厚度（mm）；

h_1 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶上口距端板顶距离（mm）；

h_2 ——端板上预应力钢筋锚固孔台阶下口距端板顶距离（mm）；

f_{vd} ——端板抗剪强度设计值，按《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 取值。

说明：1、参考住建部行标、江苏地标、辽宁地标和安徽地标；2、端板材质 Q235B，桥规的抗剪强度值略低，故按桥规规定取值验算。

2 根据管桩接桩连接处强度验算单桩抗拉承载力时,机械连接应按现行国家及行业等有关标准的规定进行计算,焊接连接应按下式进行计算:

$$N = \frac{1}{4} \pi (d_5^2 - d_6^2) f_{td}^w$$

式中: N ——管桩接桩连接处单桩受拉承载力设计值;

d_5 ——考虑设计周期腐蚀后,焊缝外径 (mm);

d_6 ——考虑设计周期腐蚀后,焊缝内径 (mm);

f_{td}^w ——焊缝的抗拉强度设计值,按《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 取值。

说明: 1、参考住建部行标、江苏地标、辽宁地标和安徽地标等; 2、增加考虑设计周期的焊缝腐蚀; 3、桥规的焊缝抗拉强度值略低。

3 根据管腔内填芯微膨胀混凝土深度及填芯混凝土纵向钢筋验算单桩抗拉承载力时,应按下列公式进行计算并取其中较小值:

$$\begin{cases} N = k_1 \pi d_1 L_a f_n \\ N = f_{sd} A_s \end{cases}$$

式中: N ——管桩桩顶填芯混凝土单桩受拉承载力设计值;

k_1 ——经验折减系数,取 0.8;

d_1 ——管桩内径;

L_a ——填芯混凝土高度;

f_n ——填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值,宜由现场试验确定,当缺乏试验资料时,C30 微膨胀混凝土可取 0.35N/mm^2 ;

A_s ——填芯混凝土纵向钢筋总截面面积;

f_{sd} ——填芯混凝土纵向钢筋的抗拉强度设计值。

说明: 参考住建部行标、江苏地标、辽宁地标和安徽地标等,其中辽宁省地标和安徽省地标无经验折减系数 0.8。

6.6.3 管桩与承台采用接桩连接时,接桩段参考 6.6.1 条按普通钢筋混凝土偏心受压构件验算。

说明: 接桩段按普通钢筋混凝土偏心受压构件验算。

6.7 抗震计算

6.7.1 管桩按能力保护构件进行 E2 地震作用验算,管桩基础对应的桥梁墩柱未进入塑性工作范围,管桩基础的内力设计值可用 E2 地震作用的计算结果;管桩基础对应的桥梁

墩柱进入塑性工作范围，管桩内力设计值应为与墩柱的极限弯矩(考虑超强系数)所对应的弯矩、剪力值。

说明：已修改。

6.7.2 管桩验算按本规范条文 6.3、6.4 和 6.5 验算其抗弯强度和抗剪强度。

说明：已修改。

征求意见稿

7 地基土对桩的支承能力计算

7.1 一般规定

7.1.1 管桩基础按施工工艺可分为静压法、锤击法、中掘法、植入法、引孔沉桩法等，管桩基础承载力计算必须结合施工工艺并考虑施工工艺的影响。本规程桩基承载力计算仅适用于静力压入法和锤击贯入法施工，其他施工工艺应参照其它可靠资料或通过设计试桩总结承载力的计算方法。

说明：不同的施工工艺，承载力相差会非常大。除静压法和锤击法外，大多施工措施目的是让原本不能沉桩的地质条件可继续沉桩，增加了桩长和可靠性，但是并不一定增加了承载力，故需要根据具体措施来总结该措施的承载力计算方法。

7.1.2 管桩基础按承载性状分类：

- 1 摩擦桩——桩顶荷载主要由桩侧阻力承受，并考虑桩端阻力；
- 2 端承桩——桩顶荷载主要由桩端阻力承受，并考虑桩侧阻力。

说明：同一结构单元应避免同时采用，故定义。

7.1.3 管桩基础按成桩方法分类：

- 1 部分挤土桩——采用静压法、锤击法施工的敞口预应力混凝土管桩；
- 2 挤土桩——采用静压法、锤击法施工的闭口预应力混凝土管桩。

说明：仅针对静压法和锤击法，敞口和闭口管桩区分了挤土桩和部分挤土桩。

7.1.4 管桩基础设计应具备下列基本资料：

- 1 工程地质勘察报告，项目所在地区的自然地理条件、场地工程地质条件、水文地质条件、场地水土腐蚀性评价、场地地震效应、工程地质评价等；
- 2 桥型布置图、上部构造通用图、桥墩一般构造图等；
- 3 桥梁附近地上、地下管线，受沉桩影响的临近构造（建筑）物，防振、防噪要求，施工机械进出场及现场运行条件；
- 4 沉桩设备、施工工艺及其对施工条件的适应性；
- 5 可选用的管桩规格、运输、运距、接头形式等。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406。

7.1.5 管桩基础的承台底面标高按《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 相关规定执行，宜设计为低桩承台。

说明：承台标高延续公路设计相关规定；参考安徽省地标总则，宜设计为低桩承台。

7.1.6 上部结构连续的同一联桥梁内，除特殊设计外，不宜同时采用灌注桩和预制管桩，不宜采用直径不同和桩端深度相差过大的管桩基础。

说明：参考各规范规定，主要原因是担心不均匀沉降对上构的不利影响。

7.2 构造规定

7.2.1 桩基承台的厚度不宜小于桩直径的 1.5 倍，且不小于 1.5m，混凝土强度等级不应低于 C25。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）。

7.2.2 管桩基础的分节长度应根据施工条件确定，并应尽量减少接头数量，任一基桩的接头数量不宜超过 3 个。接头强度不应低于桩身强度，在沉桩时和使用过程中接头不应松动和开裂。用作抗拔桩的管桩宜采用专门的机械连接接头或经专项设计的焊接接头；当在强腐蚀环境采用机械接头时，宜同时采用焊接连接。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）和住建部行业标准 JGJ/T 406。

7.2.3 桩端嵌入非饱和状态强风化岩的敞口管桩，应采取有效的预防渗水软化桩端持力层的措施。

说明：参考各规范。

7.2.4 管桩基础的布置和中距。

1 群桩的布置可采用对称形、梅花形或环形布置；宜使桩基承载力合力点与承台上部结构竖向永久荷载合力作用点相重合。

2 管桩的最小中心距应符合表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 管桩最小中心距

土类与桩基情况		排数不少于 3 排且桩数 不少于 9 根的摩擦型桩基础	其他情况
挤土桩	饱和黏性土	4.5d	4.0d

	非饱和土、饱和非黏性土	$4.0d$	$3.5d$
部分挤土桩	饱和黏性土	$4.0d$	$3.5d$
	非饱和土、饱和非黏性土	$3.5d$	$3.0d$

注：1. 桩的中心距指两根桩桩端横断面中心之间的距离；

2. d 管桩外径；

3. 当纵横向桩距不相等时，其最小中心距应满足“其他情况”一栏的规定；

4. 液化土、湿陷性土等特殊土，可适当减小桩距。

3 边桩（或角桩）外侧与承台边缘的距离，对于直径小于或等于 1.0m 的桩，不应小于 0.5 倍桩径，并不小于 250mm；对于直径大于 1.0m 的桩，不应小于 0.3 倍桩径，并不应小于 500mm。

4 同一结构单元，除特殊设计外，不宜同时采用摩擦桩和端承桩。

5 应选择硬土层作为桩端持力层。桩端全截面（不包括桩尖部分）进入持力层深度，对于黏性土、粉土不宜小于桩径的 2 倍，砂土、全风化、强风化软质岩等不宜小于桩直径的 1.5 倍，碎石土、强风化硬质岩等不宜小于桩直径的 1 倍。当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于桩直径的 4 倍，并应进行软弱下卧层承载力和群桩沉降验算。

6 在确定沉桩进入硬土层的深度时，应根据类似工程经验考虑桩的可沉性，必要时应进行试沉桩。

说明：参考《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）及管桩各规范确定。

7.2.5 管桩顶部与承台连接处的混凝土填芯应符合下列规定：

1 填芯混凝土深度不应小于 3 倍桩径且不应小于 2.0m；出现拉力时，填芯混凝土深度应按本规程 6.6.2 条计算确定，且不得小于 3m；对于桩顶承担较大水平力的桩，填芯混凝土深度应按计算确定，且不得小于 6 倍桩径并不得小于 3m。

2 填芯混凝土强度等级不得低于 C30，应采用补偿收缩混凝土或微膨胀混凝土。填芯补偿收缩混凝土的限制膨胀率宜为 0.02%，填芯微膨胀混凝土的限制膨胀率宜为 0.03%，限制干缩率均不应大于 0.015%。混凝土限制膨胀率和限制干缩率的测定应按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定执行。

3 管腔内壁浮浆应清除干净，并刷纯水泥浆。填芯混凝土应灌注饱满，振捣密实，下封层不得漏浆。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406、辽宁省地标。对于管桩与承台的连接尤其是对于抗拔桩，填芯混凝土的质量非常重要。

7.2.6 管桩与承台连接时应采用桩顶填芯混凝土内插钢筋与承台的连接方式，伸入承台的纵向钢筋数量不应少于 6 根，直径不应小于 16mm，锚入承台的长度不宜少于 35 倍钢

筋直径，插入管桩内的长度应与填芯混凝土深度相同且不小于 2.0m。

说明：参考《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）及管桩各规范确定。

7.2.7 管桩桩身嵌入承台内的深度不宜小于 100mm，且不应大于 150mm；伸入承台内的桩顶主筋可做成喇叭形（与竖直线夹角大约为 15° ）。

说明：为加强桩和承台的连接《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63）规定桩身嵌入承台内的深度可采用 100mm；住建部行标规定管桩嵌入承台内的长度为 50mm~100mm；我院设计时通常采用 150mm，综合桥梁承台最小厚度 1.5m 考虑管桩嵌入深度范围可选择 100~150mm，有 5cm 的设计预留施工误差范围。

7.2.8 管桩桩尖应符合下列规定：

- 1 应根据地质条件和布桩情况选用桩尖，宜选用开口型桩尖。
- 2 腐蚀环境下的管桩或桩端位于遇水易软化的风化岩层时，可根据穿过的土层性质、打（压）桩力的大小以及挤土程度选择平底形、平底十字形或锥形闭口桩尖。桩尖焊缝应连续饱满不渗水，且在首节桩沉桩后立即在桩端灌注高度不小于 1.2m 的补偿收缩混凝土或中粗砂拌制的水泥砂浆进行封底，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。
- 3 桩尖宜采用钢板制作，钢板应采用 Q235B 钢材，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定，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。桩尖制作和焊接应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406。

7.2.9 在地下水或地基土对管桩的混凝土、钢筋和钢零件有腐蚀作用的环境中应用的管桩，其防腐蚀措施可按下列规定执行：

- 1 在弱腐蚀和中腐蚀环境下的管桩，其最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定值，桩尖可采用闭口型。
- 2 管桩基础应减少接头数量，宜采用单节管桩。若需要接桩时，接头宜设置于微腐蚀土中；位于中腐蚀土中的接头，应增加接桩钢零部件和焊缝厚度。
- 3 在中腐蚀的环境下，焊缝坡口应满焊封闭，桩底部应灌注高度不小于 1.5m 的 C30 混凝土。
- 4 在硫酸盐腐蚀环境下应用的管桩，桩身混凝土应采用抗硫酸盐水泥，或应掺加矿物掺合料。在氯离子腐蚀环境下应用的管桩，应掺加钢筋阻锈剂和矿物掺合料，不得采用亚

盐酸类的阻锈剂。

5 在强腐蚀环境下采用管桩基础时，应进行专门的研究和论证，采取有效可靠的防腐蚀措施。

说明：参考辽宁省地标，其中第五小点列入了基本规定。

7.2.10 同一承台的基桩，桩端宜处于同一土层，且桩端高程不宜相差过大；当桩端进入不同的土层时，打入桩各桩最终沉桩贯入度不宜相差过大。

说明：参考《港口工程桩基规范》，沉桩受施工工艺、地质情况变化影响，容易出现沉桩困难，桩端高程或最终沉桩贯入度相差较大。

7.3 轴向受压承载力计算

7.3.1 单桩轴向受压承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 公路桥梁管桩基础相近地质条件下宜通过轴向静载试验确定单桩轴向受压承载力容许值，试验应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 相关规定。在同一条件下，试桩数量不应少于 3 根。

2 单桩轴向受压承载力容许值应按下列公式计算：

$$R_a = \frac{R_k}{K}$$

式中： R_k ——单桩轴向受压极限承载力标准值；

K ——安全系数，取 $K=2$ 。

3 单桩竖向受压极限承载力标准值 R_k 应小于桩身施工允许最大顶压力 R_d 。

说明：1、《公路桥涵地基与基础设计规范》中未明确安全系数，但可推断出系数为 2；管桩相关规范给的安全系数都是 2；《港口桩基工程规范》K 对应的是单桩轴向承载力分项系数，打入桩静载试验法分项系数是 1.3~1.4。

2、管桩施工完成后，应对桩长变化较大、锤击数或贯入度较小或其它有疑问的桩优先进行静载试验，静载试验结果和承载力容许值关系需要明确，并且静载试验时加载的轴力远大于设计值，故需要明确静载试验加载值和管桩性能之间的关系。

7.3.2 桩的计算，可按下列规定进行：

1 承台底面以上的荷载假定全部由桩承受；

2 桥台土压力可自填土前的原地面起算。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》规定的承载力荷载内容。

7.3.3 管桩进行竖向承载力验算时，传至承台底面的作用效应应按正常使用极限状态的短期效应组合采用；同时尚应考虑作用效应的偶然组合（不包括地震作用）。

作用效应组合值应小于或等于相应的抗力——单桩承载力容许值。

1 当采用作用短期效应组合时，其中可变作用的频遇值系数均取 1.0，且汽车荷载应计入冲击系数。

填料厚度（包括路面厚度）等于或者大于 0.5m 的拱桥、涵洞，以及重力式墩台，其计算可不计汽车冲击系数。

2 当采用作用效应的偶然组合时，作用效应的分项系数、可变效应的组合系数等均取值为 1.0。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》规定的承载力的荷载组合。

7.3.4 群桩基础中单桩的桩顶作用效应可按本规程第 6.2.1 条计算。

说明：管桩多为群桩基础，必须明确计算公式。《桥规》（JTG 3362）和管桩相关规范，均介绍采用该公式进行计算。

7.3.5 基桩设计应考虑负摩阻力的影响，必要时应采取有效的减小桩的负摩阻力的工程措施。以下列举一些需考虑负摩阻力的情况：

1 软土地区桩周土因自重固结、蠕变、大面积堆载、路基填土、地下水位下降等影响而产生大于桩的沉降；

2 桩身穿过新近沉积或人工填筑的土层，该土层在其自重作用下仍未固结稳定；

3 存在其它会引起桩入土范围内的土层产生压缩的因素时。

说明：根据各规范列举负摩阻力。

7.3.6 管桩基础沉桩的承载力容许值 $[R_a]$ ，可按下列公式估算：

$$[R_a] = \frac{1}{2} \left(u \sum_{i=1}^n l_i q_{ik} + q_{rk} A + \lambda_p q_{rk} A_{p1} \right)$$

$$\text{当 } h_c/d < 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.16 h_c/d$$

$$\text{当 } h_c/d \geq 5 \text{ 时, } \lambda_p = 0.8$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$$

$$A_{p1} = \frac{\pi}{4} d_1^2$$

式中: $[R_a]$ ——单桩轴向受压承载力容许值 (kN), 桩身、桩芯自重与置换土重 (当自重计入浮力时, 置换土重也计入浮力) 的差值作为荷载考虑;

u ——桩身外周长 (m);

n ——土的层数;

l_i ——承台底面或局部冲刷线以下各土层的厚度 (m);

q_{ik} ——与 l_i 对应的各土层与桩侧摩阻力标准值 (kPa), 宜采用单桩摩阻力试验确定或通过静力触探试验测定;

q_{rk} ——桩端处土的承载力标准值 (kPa), 宜采用单桩试验确定或通过静力触探试验测定, 当无条件时按本规程表 7.3.6 选用;

λ_p ——桩端土塞效应修正系数, 对于闭口桩 $\lambda_p=1$, 对于敞口管桩按上式计算;

A ——管桩桩身横截面面积 (m²);

A_{p1} ——管桩空心部分敞口面积 (m²);

d, d_1 ——管桩的外径、内径 (m);

h_c ——桩端进入持力层的深度 (不包括桩尖)。

表 7.3.6 沉桩桩端处土的承载力标准值 q_{rk}

土类	状态	桩端承载力标准值 q_{rk} (kPa)		
黏性土	$I_L \geq 1$	1000		
	$1 > I_L \geq 0.65$	1600		
	$0.65 > I_L \geq 0.35$	2200		
	$0.35 > I_L$	3000		
		桩尖进入持力层的相对深度		
		$1 > \frac{h_c}{d}$	$4 > \frac{h_c}{d} \geq 1$	$\frac{h_c}{d} \geq 4$
粉土	中密	1700	2000	2300
	密实	2500	3000	3500
粉砂	中密	2500	3000	3500
	密实	5000	6000	7000
细砂	中密	3000	3500	4000
	密实	5500	6500	7500
中、粗砂	中密	3500	4000	4500
	密实	6000	7000	8000
圆砾石	中密	4000	4500	5000
	密实	7000	8000	9000

说明: 结合《公路桥涵地基与基础设计规范》沉桩计算公式和管桩相关规范确定, 特别需要注意的是桩端处土的承载力标准值与钻 (挖) 孔灌注桩的桩端处土的承载力基本容许值两者数值相差非常大。

7.3.7 单桩轴向受压承载力容许值 $[R_a]$ ，应根据桩的受荷阶段及受荷情况乘以表 7.3.7 规定的抗力系数。

表 7.3.7 单桩轴向受压承载力的抗力系数

受荷阶段	作用效应组合		抗力系数
使用阶段	短期效应组合	永久作用与可变作用组合	1.25
		结构自重、预加力、土重、土侧压力和汽车、人群组合	1.00
	作用效应偶然组合（不含地震作用）		1.25
施工阶段	施工荷载效应组合		1.25

说明：选择继承《公路桥涵地基与基础设计规范》中的有关规定。

7.3.8 9 根及以上管桩的多排摩擦桩群桩在桩端平面内桩距小于 6 倍桩径时，群桩作为整体基础验算桩端平面处土的承载力；当桩端平面以下有软土层或软弱地基时，验算该土层的承载力；承载力按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 相关规定验算。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》的规定。

7.4 轴向受拉承载力计算

7.4.1 计算作用于承台底面由外荷载引起的轴向力时，应扣除桩身自重值。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》规定外荷载取值。

7.4.2 公路桥梁混凝土管桩应根据承受作用的情况决定是否允许出现拉力。当桩的轴向力由结构自重、预加力、土重、土侧压力、汽车荷载和人群荷载短期效应组合所引起时，桩不允许受拉；当桩的轴向力由上述荷载并与其他作用组成的短期效应组合或荷载效应的偶然组合（地震作用除外）所引起时，则桩允许受拉。管桩单桩轴向受拉承载力容许值按下列公式计算：

$$[R_t] = 0.3\mu \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i q_{ik}$$

式中： $[R_t]$ ——单桩轴向受拉承载力容许值（kN）；

α_i ——对于锤击、静压沉桩， $\alpha_i = 1$ ；

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》的规定；受拉的安全系数是 $1/0.3=3.33$ ，比受压的安全系数 2 更高。

7.4.3 当管桩基础群桩整体受拉破坏时，单桩轴向受拉承载力容许值可按下列公式计算：

$$[R_t] = \frac{1}{n} \left(0.3\mu_l \sum_{i=1}^n l_i q_{ik} + G_p \right)$$

式中： μ_l ——群桩外围周长；

n ——群桩基础中的管桩根数；

G_p ——群桩基础所包围体积的土总自重标准值，地下水位以下应扣除水浮力。

说明：参考了安徽省地标，但是结合 7.4.2 条的抗拔系数 0.3 进行了修改；这里不包含桩自重值是因为 7.4.1 条已扣除。

7.5 水平承载力计算

7.5.1 单桩水平承载力容许值取决于管桩的规格型号、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值和桩顶嵌固情况等因素。

说明：参考江苏省地标等。

7.5.2 单桩水平承载力容许值的确定应符合下列规定：

1 相近地质条件下宜通过水平加载试验确定，试验应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 相关规定。

2 在同一条件下，试桩数量不应少于 3 根。

说明：参考安徽省地标等。

7.5.3 水平荷载试验必要时可进行带承台桩的荷载试验。对于承受反复水平荷载的基桩，采用多循环加卸载方法；对于承受长期水平荷载的基桩，采用单循环加载方法。

说明：参考《公路桥涵施工技术规范》和江苏省管桩地标。

7.5.4 当管桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少单桩水平荷载试验资料时，除 A 型管桩外，可按变形控制采用下列公式估算管桩基础单桩水平承载力设计值：

$$[R_{ha}] = 0.75 \frac{\alpha^3 EI}{v_x} \chi_{0a}$$

$$EI = 0.85 E_c I_0$$

$$I_0 = \frac{\pi(r_2^4 - r_1^4)}{4} + \frac{\left[\left(\frac{E_p}{E_c}\right) - 1\right] A_p r_p^2}{2} + \frac{\left[\left(\frac{E_s}{E_c}\right) - 1\right] A_s r_s^2}{2}$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_1}{EI}}$$

当 $d \geq 1.0m$:

$$b_1 = 0.9(d + 1)$$

当 $d < 1.0m$:

$$b_1 = 0.9(1.5d + 0.5)$$

式中: $[R_{ha}]$ ——单桩水平承载力设计值;

v_x ——管桩桩顶水平位移系数, 按表 7.5.4-1 取值;

χ_{0a} ——管桩桩顶允许水平位移 (m);

E_c ——混凝土弹性模量;

E_p ——预应力钢筋弹性模量;

E_s ——普通钢筋弹性模量;

r_1 、 r_2 ——管桩截面的内外半径;

r_p 、 r_s ——纵向预应力钢筋、纵向普通钢筋重心所在圆周的半径;

A_p 、 A_s ——全部纵向预应力钢筋、纵向普通钢筋的总截面面积;

α ——管桩的水平变形系数;

m ——非岩石地基水平向抗力系数的比例系数, 可按表 7.5.4-2 选用;

b_1 ——桩的计算宽度;

d ——管桩的外径。

表 7.5.4-1 管桩桩顶水平位移系数 v_x

桩顶约束情况	桩的换算深度 (αh)	v_x
铰 接	4.0	2.441
	3.5	2.502
	3.0	2.727
	2.8	2.905
	2.6	3.163
	2.4	3.526
刚 接	4.0	0.940
	3.5	0.970
	3.0	1.028
	2.8	1.055
	2.6	1.079
	2.4	1.095

注: 1、当 $\alpha h > 4.0$ 时, 取 $\alpha h = 4.0$;

2、3 桩及 3 桩以上承台且满足附录 A 节点要求可视为刚接;

3、2 桩及单桩承台有该方向系梁约束且满足附录 A 节点要求可视为刚接;

4、不满足 2 和 3 要求时可视为铰接。

表 7.5.4-2 非岩石地基水平向抗力系数的比例系数 m

土的名称	m (MN/m ⁴)	土的名称	m (MN/m ⁴)
流塑性黏土 $I_L > 1.0$, 软塑性黏性土 $1.0 \geq I_L > 0.75$, 淤泥	3~5	坚硬, 半坚硬黏性土 $I_L \leq 0$, 粗砂, 密实粉土	20~30
可塑黏性土 $0.75 \geq I_L > 0.25$, 粉砂, 稍密粉土	5~10	砾砂, 角砾, 圆砾, 碎石, 卵石	30~80
硬塑黏性土 $0.25 \geq I_L > 0$, 细砂, 中砂, 中密粉土	10~20	密实卵石夹粗砂, 密实漂、卵石	80~120

注：1、本表用于基础在地面处位移最大值不应超过 6mm 的情况，当位移较大时，应适当降低；

2、当基础侧面设有斜坡或台阶，且其坡度（横：竖）或台阶总宽与深度之比大于 1:20 时，表中 m 值应减少 50% 取用；

3、当水平荷载为长期荷载时，应将表列数值乘以 0.4 后采用；

4、当桩侧面为几种土层组成时，应求得主要影响深度 $h_m = 2(d+1)$ (m) 范围内的 m 值作为计算值。

说明：参考《公路桥涵地基与基础设计规范》、辽宁省地标和住建部行业标准拟定。

7.6 沉降及稳定性计算

7.6.1 当管桩基础建筑在地质情况复杂、土质不均匀及承载力较差的地基上，以及相邻跨径差别悬殊而需计算沉降差或跨线桥净高需预先考虑沉降量时，均应计算其沉降。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》要求。

7.6.2 管桩基础的沉降，应符合下列规定：

- 1 相邻墩台间不均匀沉降差值（不包括施工中的沉降），不应大于 5mm；
- 2 外超静定结构桥梁墩台间不均匀沉降差值，还应满足结构的受力要求。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》要求“不应使桥面形成大于 0.2% 的附加纵坡”，这个要求太低了。桩基的极限承载轴力值判断标准是总位移量小于 40mm，不均匀沉降差必然是低于该值的。中交二公院对常规中小桥梁的不均匀沉降控制指标是 5mm，本规程规定采用 5mm。

7.6.3 当管桩为端承桩或桩端平面内桩的中距大于桩径的 6 倍时，桩基的总沉降量可取单桩的沉降量。其他情况下，按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 墩台基础相关规定计算群桩的沉降量，并应计入桩身压缩量。

说明：《公路桥涵地基与基础设计规范》的规定；地标中关于沉降也仅规定了应按《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）及《建筑桩基技术规范》（JGJ 94）中的相关规定执行。

7.6.4 管桩基础地基整体稳定性验算应符合《公路路基设计规范》JTG D30 等相关规范规定。

说明：本规程 3.1.2 条提出了“对位于坡地、岸边的基桩，应进行整体稳定性验算”，对应的验算内容方法等，按照路基设计规范执行。

7.6.5 当管桩基础桩周土因受开挖、地面大面积堆载等因素影响时，应考虑由此引起的不平衡推力对管桩稳定性的影响。

说明：参考安徽省地标。

7.6.6 抗震设防区管桩基础对于存在液化扩展的地段，应验算桩基在土流动的侧向作用力下的稳定性。

说明：参考黑龙江地标。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 沉桩施工前，应进行下列准备工作：

- 1 调查施工场地及毗邻区域内的地下及地上管线、构造（建筑）物及障碍物受沉桩施工影响的情况，并应提出相应的技术安全措施；
- 2 调查现场的工程地质、地形、水文、气象等情况并提出相应的安全质量措施；
- 3 处理或清除场地内影响沉桩的高空及地下障碍物；
- 4 平整场地，地基土表面处理；
- 5 根据有关要求制定专项施工技术方案，配置合理的沉桩设备；
- 6 供电、供水、排水、道路、照明、通信等的安设；
- 7 管桩基础施工图、设计交底及图纸会审纪要；
- 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。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406、广东省地标等。

8.1.2 沉桩施工前，应具备下列文件和资料：

- 1 拟建场地的工程地质勘察报告；
- 2 向施工作业人员做安全技术交底；
- 3 已批复的施工组织设计；
- 4 拟建场地周围道路及构造（建筑）物、地下管线、高空线路等相关的技术资料；
- 5 主要施工设备的技术性能资料；
- 6 管桩出厂合格证、产品说明书、产品试验报告及现场验收资料；
- 7 施工工艺的试验资料。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406、广东省地标等。

8.1.3 当桩基施工影响临近构造（建筑）物、地下管线的正常使用和安全时，应调整施工工艺或沉桩施工顺序，并可采用下列一种或多种辅助措施：

- 1 锤击沉桩时，宜采用“重锤轻击”法施工；
- 2 在施工场地与被保护对象间开挖缓冲沟，根据挤土情况可反复在缓冲沟内取土；

3 采用引孔沉桩、植入法、中掘法等方法施工；改变施工工艺需参建各方共同商议确定，确保承载力满足设计要求；

4 在饱和软土地区设置砂井或塑料排水板；

5 控制沉桩速率、优化沉桩流程；

6 对被保护建筑物进行加固处理。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.1.4 沉桩施工中如发现实际地质情况与勘测报告有较大偏差，应根据具体情况进行补充钻探。

说明：参照《港口工程桩基规范》

8.1.5 施工时应设置相应观测点，对先期沉入的基桩顶部进行上浮、下沉以及水平位置检测。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406。自己的经历，施工班组提供的资料不能证明管桩施工过程中已损坏，低应变检测桩身完整性没有问题，而静载试验确实发现管桩已损坏；后到现场发现，管桩桩头位移偏差已有 50cm，因此如果有测量数据，就可以更早的发现施工过程中出现的一些问题。

8.1.6 当桩基施工毗邻边坡或在边坡上施工时，应监测施工对边坡的影响；在邻近湖、塘的施工区域，应防止桩位偏移和倾斜。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.1.7 沉桩施工顺序应符合下列规定：

1 沉桩顺序应在施工组织设计或施工方案中明确；

2 对于桩中心距小于 4 倍桩径、排数不少于 3 排且桩数不少于 9 根的群桩基础，应由中间向外或向后退打；

3 排数不少于 3 排且桩数不少于 9 根的多桩承台边缘的桩宜待承台内其他桩施工完成并重新测定桩位后再施工；

4 对于一侧靠近现有构造（建筑）物的场地，宜从毗邻构造（建筑）物的一侧开始由近至远端施工；

5 同一场地桩长差异较大或桩径不同时，宜遵循先长后短、先大直径后小直径的施工顺序；

6 在斜坡地带，应先沉坡顶的，后沉坡脚的。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406，公路桥梁管桩基础一般不会到达 9 根。

8.1.8 桩位控制应符合下列规定：

1 桩位测放应根据基桩坐标表和桩位平面布置图确定，桩位误差应符合设计要求或沉桩验收评定标准相关要求；

2 沉桩时桩基定位应准确、平稳。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406，桥梁基础定位设计单位会提供基桩坐标表。

8.1.9 管桩的混凝土强度必须达到设计混凝土强度等级和规定的龄期后方可使用。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.1.10 管桩的沉桩施工应符合下列规定：

1 第一节管桩起吊就位插入地面下 0.5m~1.0m 时的垂直度偏差不得大于 0.5%；

2 当桩身垂直度偏差超过 0.5%时，应找出原因并作纠正处理；沉桩后，严禁用移动桩架的方法进行纠偏；

3 沉桩、接桩、送桩宜连续进行；

4 管桩沉桩施工工艺、设备等应与试沉桩一致。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406，把第二条也改成 0.5%，不然 0.5~0.8%之间要怎么处理没提。

8.1.11 沉桩施工时，连接和沉桩的施工过程应有完整的施工记录，宜留存影像资料。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406，隐蔽工程增加了宜留存影像资料。

8.1.12 沉桩时，需用两台互为正交的经纬仪随时观测桩身垂直度，送桩器与桩身的纵向轴线应保持一致。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406；根据公路桥梁管桩基础特点，送桩深度不大而管桩长度较大，修改为沉桩时观测桩身的垂直度。

8.1.13 沉桩的控制桩长应根据地质条件、锤击数、贯入度、压桩力、设计桩长、标高等因素综合确定。

1 当采用摩擦桩时，应以标高控制为主，锤击数、贯入度、压桩力控制为辅；当桩底已达设计高程而锤击数、贯入度、压桩力仍不满足控制值时，应继续沉桩使其满足控制值要求，但继续下沉时，应预估桩长并考虑接桩方案、施工水位影响。

2 当采用端承桩时，应以锤击数、贯入度、压桩力控制为主，标高控制为辅；当沉桩

锤击数、贯入度已达到控制值，而桩端未达到设计高程时，应继续锤击贯入 100mm 或锤击 30~50 击，其平均锤击数、贯入度不大于控制值，且桩端距设计高程不宜超过 1~3m（硬土层顶面高程相差不大时取小值）。超过上述规定，应会同监理和设计单位研究处理。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406：“控制深度”改叫“控制桩长”，公路桥梁图纸中分别给出了标高和桩长，但是习惯叫做桩长设计；管桩预制长度也是整米的，叫控制桩长应该更合适。

8.1.14 施工应实行首件工程制，校核收锤标准或终压值以及沉桩设备、工艺参数等。

说明：参照河北省地标，设计单位需求实施的属于设计试桩，施工单位可结合首件工程进行施工实验和总结。

8.1.15 遇下列特殊情况之一时暂停沉桩，应与设计、监理等有关人员研究处理后方可继续施工：

- 1 压桩力或沉桩贯入度突变；
- 2 沉桩入土深度与设计要求差异大；
- 3 实际沉桩情况与地质报告中的土层性质明显不符；
- 4 桩头混凝土剥落、破碎，或桩身混凝土出现裂缝或破碎；
- 5 桩身突然倾斜、移位或有严重回弹；
- 6 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大；
- 7 沉桩过程出现异常声响；
- 8 压桩不到位，或总锤击数超过规定值。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.1.16 沉桩完成后应对桩头高出或低于地表部分进行保护处理。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.1.17 基桩开挖时应制定施工方案，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。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。严禁边打桩、边开挖。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.1.18 在饱和黏性土、粉土地区，应在同一桥墩沉桩全部完成 15d 后进行开挖。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.2 起吊、运输与堆放

8.2.1 管桩的吊运应符合下列规定：

- 1 管桩在吊运时，桩身混凝土强度应符合相关规定，确认不会对桩身混凝土产生损伤时方可进行，管桩在吊运过程中应轻吊轻放，严禁碰撞、滚落；
- 2 管桩不宜在施工现场多次倒运；
- 3 管桩长度不应大于 15m 且应符合本规程规定的单节长度，宜采用两点起吊（图 6.2.3-1）；也可采用专用吊钩钩住桩两端内壁进行水平起吊，吊绳与桩夹角应大于 45° ；

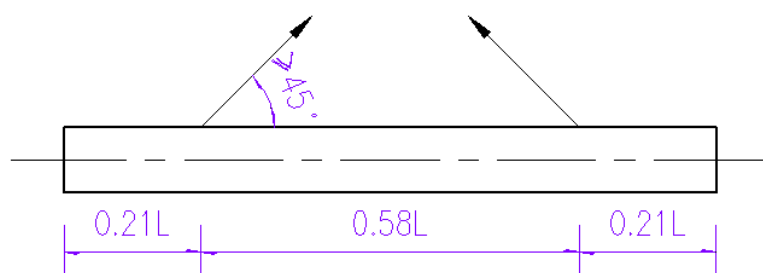


图 6.2.3-1 15m 以下桩吊点位置

- 4 管桩长度大于 15m 且小于 30m 的管桩或拼接桩，应采用四点吊（图 6.2.3-2）；长度大于 30m 的管桩或拼接桩，应采用多点吊，吊点位置应另行验算。

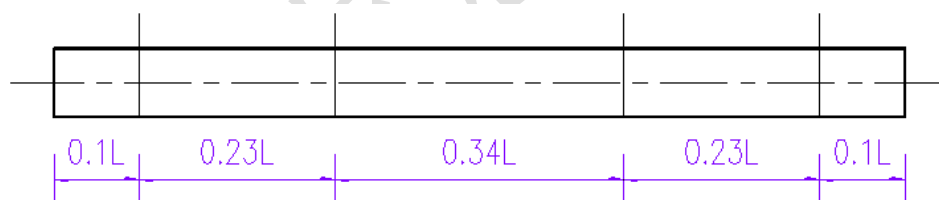


图 6.2.3-2 15~30m 长桩吊点位置

说明：参考各规程。第一管桩一般不会超过 15m，运输超长了；第二，一般都是构件厂送货，经验充足且坏了是自己的。

8.2.2 管桩运输宜采用平板车或驳船，装卸及运输时应采用特殊支架进行固定，防止桩滚动、损伤和坠落。

说明：参考各规程。

8.2.3 管桩的现场堆放应符合下列规定：

- 1 堆放场地应平整、坚实，不应有不均匀沉降，且场地应有防排水措施；
- 2 堆放时应采取支垫措施，支垫材料宜选用长方木或枕木，不得使用有棱角的金属构

件；

3 支垫位置宜分别位于距桩端 0.21 倍桩长处，其偏差不宜超过 200mm；

4 多层堆放时，各层垫木应位于同一垂直面上，且层数不宜超过 3 层，底层最外缘桩的垫木处应用木楔塞紧；

5 应按不同规格、长度及施工流水顺序分类堆放。

说明：参考各规程。公路桥梁管桩密度较低，场地大小通常不受限。安徽省地标堆放层数不宜超过 2 层或 3 层。

8.2.4 施工现场移桩应符合下列规定：

1 管桩叠层堆放时，应采用吊机取桩，严禁拖拉移桩；

2 应保持桩基的稳定和桩的完整；

3 采用三点支撑履带自行式打桩机施工时不宜拖拉取桩。

说明：参照住建部行业标准 JGJ/T 406

8.3 接桩与截桩

8.3.1 管桩施工时应避免在桩底接近密实砂土、碎石、卵石等硬土层时进行接桩。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406。在密实砂土、碎石、卵石等硬土层中沉桩变的困难，可能导致接桩头距离地面较浅，不利于防腐和结构受力。

8.3.2 焊接接桩除应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和《钢结构焊接规范》GB 50661 中二级焊缝的规定外，尚应符合下列规定：

1 入土部分桩段的桩头宜高出地面 1.0m。

2 下节桩的桩头处宜设置导向箍或其它导向措施。接桩时，上、下节桩段应保持顺直，错位不超过 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 焊接前应将上、下节桩接头端板坡口内的铁锈、油污、水和杂物清除干净，并应将焊丝、焊条和焊剂烘干。

4 手工焊接时宜先在坡口圆周上对称点焊 4 点~6 点，待上、下节桩固定后拆除导向箍再分层焊接，焊接宜对称进行。

5 焊接层数不得少于 2 层，焊完每层焊缝后，应及时清除焊渣，并做外观检查，每一层焊缝均应错开。

6 手工电弧焊接时，第一层宜用 $\Phi 3.2\text{mm}$ 电焊条施焊，保证根部焊透。第二层可用粗焊条，宜采用 E43 型系列焊条；采用二氧化碳气体保护焊时，焊丝宜采用 ER50-6 型。

7 桩接头焊好后应进行外观检查，检查合格后必须经自然冷却，方可继续沉桩。自然冷却时间不应少于表 8.3.2 所列时间；严禁浇水冷却，或不冷却就开始沉桩。

表 8.3.2 自然冷却时间表（分钟）

锤击桩	静压桩	二氧化碳气体保护焊
8	6	3

8 钢桩尖宜在工厂内焊接；当在工地焊接时，宜在堆放现场焊接。严禁桩起吊后点焊、仰焊的做法。

9 桩身接头焊接外露部分宜作防锈处理。

10 雨天焊接时，应采取防雨措施；二氧化碳保护焊应采取放风措施。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.3.3 管桩采用机械连接方式时，其间隙应保证采用沥青填料填满，并应符合下列规定：

1 采用机械螺纹接头接桩时，应符合下列规定：

1) 接桩前检查桩两端制作的尺寸偏差及连接件，无损伤后方可起吊施工，下节桩端的桩头宜高出地面 0.8m~1.0m；

2) 接桩时，卸下上、下节桩两端的保护装置后，应清理接头残余物；

3) 采用专用接头锥度对中，对准上下节桩后，旋紧连接；

4) 可采用专用链条式扳手旋紧，缩紧后两端板尚应有 1mm~2mm 的间隙。

2 采用机械啮合接头接桩时，应符合下列步骤：

1) 连接前，连接处的桩端端头板必须先清理干净，把满涂沥青涂料的连接销用扳手逐根旋入管桩带孔端板的螺栓孔内，并用钢模型板检测调整连接销的方位；

2) 剔除下边已就位管桩带槽端板连接槽内填塞的泡塑保护块，在连接槽内注入不少于 0.5 倍槽深的沥青涂料，并沿带槽端板外周边抹上宽度 20mm、厚度 3mm 的沥青涂料，当管桩基础的地基土、地下水具有中等以上腐蚀性时，带槽端板板面应满涂沥青材料，厚度不应小于 2mm；

3) 将上节管桩吊起，使连接销与带槽端板上的各个接口对准，随即将连接销插入连接槽内；

4) 加压使上、下桩节的桩端端头板接触，接桩完成。

3 采用抱箍式机械接头接桩时，应符合下列步骤：

1) 在进行接头的连接时，应及时清理端板上的污泥、杂物等，确保端面干净、平整；

2) 应严格控制桩身的垂直度，接桩时，上下节桩端板应保持对直，错位偏差不应大于 0.5mm，严禁采用移动桩架等强行回扳的方法纠偏；

3) 待下节桩施打到离地面 0.5~1.0m 处，将上节桩吊装就位，两节桩端板距离约 5cm 时，停止下放上节桩，将 1~2 个相同定位销通过螺牙固定于下面一节桩端板的张拉螺孔内，

并旋转上节桩桩身使两节桩端板螺栓孔位置对齐，稳定缓慢放下上节桩，使定位销插入上节桩端板张拉螺孔内，也可采用导向箍或其他有效的方法使上下节桩的螺丝孔垂直对位，端板面接触后，待其就位后，拧紧螺丝。

- 4) 应采取相应措施，防止抱箍式连接管桩端板上的螺栓孔在施工时被污泥等堵住；
- 5) 施工时连接卡若发现外翘应禁止使用，并及时更换新的连接卡。

4 采用其他机械连接方式接桩时，应符合相应机械连接方式操作要求的规定。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.3.4 管桩截桩应采用锯桩器，严禁采用大锤横向敲击截桩或强行扳拉截桩。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4 静压法沉桩

8.4.1 静压法沉桩宜用于：覆盖层易压穿、桩端持力层为强风化、全风化岩层；硬塑～坚硬的黏性土层；中密～密实的碎（卵）石土、砂土、粉土层的地质条件。下列地质条件不宜采用静压桩基础或应采取有效措施后方可采用：

- 1 现场地表土层松软且地面承载力特征值 $\leq 120\text{kPa}$ 又未经处理的场地；
- 2 桩端持力层为中密～密实的砂土层且其覆盖层几乎全是稍密～中密的砂土层；
- 3 覆盖层中含有难以压穿的坚硬夹薄层。

说明：参考广东省地标《静压预制混凝土桩基础技术规程》，对静压沉桩法适用性针对本规程 3.2.2 条进一步补充。

8.4.2 静力压桩设备宜采用液压式压桩机，桩机型号应根据地质条件、桩型和受力情况及本标准附录 F 确定，并应符合下列规定：

- 1 压桩机最大压桩力应大于单桩轴向极限承载力，还应小于压桩机的机架重量和配重之和的 0.8 倍，不得在浮机状态下施工；
- 2 采用顶压式压桩机时，桩帽或送桩器与桩之间应加设弹性衬垫；
- 3 采用抱压式压桩机时，夹持机构中夹具应避开桩身两侧合缝的位置；
- 4 压桩过程中的最大压桩力值应符合设计要求，或根据沉桩工艺实验值确定，不宜大于桩身结构竖向承载力设计值的 1.5 倍；
- 5 压桩机的选择还应综合考虑下列因素后确定：
 - 1) 夹持机构应适应桩截面形状，且桩身混凝土不发生夹裂现象；
 - 2) 压边桩的能力应能满足现场施工作业条件要求；

3) 最大压桩力应达到按本条第 4 款所规定的终压力值。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406。①修改了压桩机最大压桩力应大于单桩轴向极限承载力“当工程位于应用静压桩多年且设计经验较丰富的地区时，单桩竖向抗压承载力特征值可利用试压桩配合复压法确定。除持力层为易软化的风化岩及砂土层的基桩外，试压桩完成 24h 后进行复压所测得的桩身起动时的压力值可作为该桩单桩竖向抗压极限承载力的参考值，有条件时可用高应变动测法加以验证”，单桩轴向极限承载力比较容易量化且通常是大于压桩时的桩动阻力。②其中 1.5 倍桩身结构竖向承载力设计值差不多就是用到了混凝土的标准值，根据混凝土有效预应力值的不同，安全度也有不同。

8.4.3 压桩机资料应具备下列内容：

- 1 压桩机型号、机架重量（不含配重）、整机的额定压桩力等；
- 2 压装机的外形尺寸及拖运尺寸；
- 3 压装机的最小边桩距及压边桩机构的额定压桩力；
- 4 长、短船型鞋履的接地压力；
- 5 夹持机构的形式；
- 6 液压油缸的数量、直径，率定后的压力表读数与压桩力的对应关系；
- 7 吊桩机构的性能及吊桩能力。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406。

8.4.4 选择抱压式或顶压式液压压桩机时，桩身允许抱压压桩力、顶压压桩力可按下列公式计算：

1 抱压施工压桩力

预应力高强混凝土管桩、混合配筋管桩： $R_b \leq 0.95f_{cd}A$

2 顶压施工压桩力或送桩时压桩力

$$R_d \leq 1.1R_b$$

式中： R_b ——桩身允许抱压压桩力（kN）；

R_d ——桩身允许顶压压桩力（kN）；

f_{cd} ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值（kPa）；

A ——管桩桩身横截面面积（ m^2 ）。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406。这里和 6.2.2 条对应，该怎么考虑混凝土有效预压应力的影响，带来公式的变化。

8.4.5 压桩机就位后应精确定位，采用线锤对点时，锤尖距离放样点不宜大于 10mm。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4.6 设计阶段未做静压试验桩的工程，在正式压桩施工前应结合首件工程完成试压桩。试压桩应符合下列规定：

- 1 试压桩数量不少于 5 根，宜选用工程桩；
- 2 试压桩的规格、长度及地质条件应具有代表性；
- 3 试压桩应选在地质勘探技术孔附近；
- 4 施工工艺、施工设备及施工条件应与工程桩施工相一致；
- 5 试压桩经过 24h 停歇后应进行复压；
- 6 试压桩应测试单桩极限承载力。

说明：参考广东省地标《静压预制混凝土桩基础技术规程》，不同之处：是公路桥梁施工中通常实施首件制，而且整个桩基础的工程量可能很大，结合公路施工特点没有要求不少于工程桩的 1%。

8.4.7 试压桩完成后应提供下列信息资料：

- 1 压桩全过程记录，包括桩不同入土深度时的压桩力、压桩曲线等；
- 2 桩身混凝土经抱压后完整性的检查检测资料；
- 3 压桩机整体运行情况；
- 4 桩接头形式及接头施工记录；
- 5 复压资料；
- 6 出现异常情况的详细记录。

说明：参考广东省地标和住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4.8 静压法施工沉桩速度不宜大于 2m/min。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4.9 抱压式液压压桩机压桩作业尚应符合下列规定：

- 1 压桩机应安装能满足最大压桩力要求的配重；
- 2 当机上吊机在进行吊装续桩过程中，压桩机严禁行走和调整；
- 3 压桩过程中应经常注意观察桩身混凝土的完整性，一旦发现桩身裂缝或掉角，应立即停机，找出原因，采取改进措施后方可再施压；
- 4 遇有夹持机具打滑、压桩机下陷或浮机时，应暂停压桩作业，采取处理措施。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4.10 静压施工应配备专用送桩器，严禁采用工程用桩作为传送器，送桩器应符合下列规定：

- 1 送桩器应有足够的强度和刚度；送桩器上下两个端面应平整，并与送桩器中心轴线相垂直；送桩器长度应满足送桩深度的要求；
- 2 送桩器的横截面外廓形状应与静压管桩相一致；
- 3 送桩器上应有尺寸标志；
- 4 送桩器下端应设置套筒，套筒深度宜为 300mm~350mm，内径应比管桩外径大 20mm~30mm，送桩器的弯曲度不得大于送桩器长度的 1%；
- 5 送桩器下端应设置排气孔，保证管桩内腔与外界相通。

说明：参考各标准制定

8.4.11 采用送桩器施工时，应符合下列规定：

- 1 送桩器与桩顶的接触面间应加衬垫，防止桩顶压碎。衬垫需经常更换，送桩器与桩顶接触面应密贴。
- 2 送桩前应测量桩的垂直度，并检查桩头质量。最上面一节桩的端板应套上防土桩帽，桩帽用 1mm~2mm 的薄钢板焊成，薄钢板上应开孔，保证管桩内腔与外界连通。合格后方可送桩，送桩作业应连续进行。
- 3 送桩前，管桩露出地面高度宜为 0.3m~0.5m。

说明：参考各标准制定

8.4.12 当场地上部有较厚的淤泥土层时，送桩器应开孔排淤、排泥，送桩深度不宜小于 1.5m。当场地上无淤泥土层或确有沉桩经验，且采取相应的措施保证桩身的垂直度满足要求时，送桩深度不宜超过 12m。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4.13 终压控制标准应符合下列规定：

- 1 终压标准应根据设计要求、沉桩工艺试验情况、桩端进入持力层情况及压桩动阻力等因素，结合试压桩或静荷载试验情况确定；
- 2 摩擦桩以桩端标高控制为主，终压力控制为辅；
- 3 当终压力值达不到预估值时，单桩竖向承载力特征值宜根据静载试验确定，不得任意增加复压次数；
- 4 当压桩力已达到终压力或桩端已到达持力层时应采取稳压措施；

5 当压桩力小于 3000kN 时, 稳压时间不宜超过 10s; 当压桩力大于 3000kN 时, 稳压时间不宜超过 5s;

6 稳压次数不宜超过 3 次, 对于小于 8m 的短桩或稳压贯入度大的桩, 不宜超过 5 次。

说明: 住建部行业标准 JGJ/T 406

8.4.14 当无类似工程施工经验时, 对于选择持力层的端承摩擦桩或摩擦端承桩, 除持力层作为定性控制外, 终压标准可参照下列规定执行:

1 当 $6\text{m} \leq L \leq 9\text{m}$ 时 (L 为桩的入土深度), 终压力值可取桩的竖向抗压承载力设计值的 2.8~3.2 倍, 终压次数为 3~5 次;

2 当 $9\text{m} < L \leq 16\text{m}$ 时, 终压力值可取桩的竖向抗压承载力设计值的 2.2~3.0 倍, 终压次数为 3 次;

3 当 $16\text{m} < L \leq 25\text{m}$ 时, 终压力值可取桩的竖向抗压承载力设计值的 2.0~2.4 倍, 终压次数为 2~3 次;

4 当 $L > 25\text{m}$ 时, 终压力值可取桩的竖向抗压承载力设计值的 2.0 倍, 终压次数为 1~2 次; 但桩周土为黏性土时, 终压力值则可取桩的竖向抗压承载力设计值的 1.7~1.9 倍, 终压次数为 1~2 次。

说明: 参考广东省地标

8.5 锤击法沉桩

8.5.1 锤击沉桩时, 锤型的选择应根据地质、桩身结构强度、桩的承载力和锤的性能, 并结合施工经验或试桩情况确定, 优先选用液压锤。打桩机的桩架和底盘必须具有足够的强度、刚度和稳定性, 并应与桩锤相匹配。

说明: 参考《港口工程桩基规范》和住建部行业标准

8.5.2 确定锤击沉桩收锤标准时, 应根据工程地质条件、桩的承载性状、单桩承载力设计值、桩规格及入土深度、打桩锤性能规格及冲击能量、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度等因素综合考虑确定; 收锤标准应以达到的桩端持力层(定性)和最后贯入度、最后 1~3m 的每米沉桩锤击数(定量)作为主要的收锤控制指标; 地质情况复杂的工程, 锤击沉桩控制收锤标准宜由试打桩、静荷载试验和高应变动力测试等研究确定; 有类似工程经验的可参照确定。

说明: 参考《港口工程桩基规范》。①沉桩收锤标准的确定是一项重要工作, 贯入度过大

则影响桩的承载力，过小则沉桩困难甚至影响锤体和桩身安全；②对于持力层承载力很高的端承桩，贯入度在收锤标准中重要性较高；对于持力层承载力一般的摩擦桩，由于贯入度施工中容易受人为因素影响，最后 1~3m 的沉桩锤击数就更能体现承载力。

8.5.3 设计阶段未做锤击试验桩的工程，在正式沉桩施工前应结合首件工程完成试打桩。试打桩应符合下列规定：

- 1 试打桩数量不少于 5 根，宜选用工程桩；
- 2 试打桩的规格、长度及地质条件应具有代表性；
- 3 试打桩应选在地质勘探技术孔附近；
- 4 施工工艺、施工设备及施工条件应与工程桩施工相一致；
- 5 停歇 24 小时进行复打；
- 6 试打桩应测试单桩极限承载力。

说明：参考《港口工程桩基规范》和广东省地标。

8.5.4 下列情况可通过试打桩进行检验：

- 1 能否穿过桩端设计高程以上的硬土层等；
- 2 桩端进入持力层的深度和沉桩收锤标准；
- 3 沉桩工艺、设备与桩身结构强度是否与沉桩地质情况相适应。

说明：参考《港口工程桩基规范》

8.5.5 桩帽及垫层的设置应符合下列规定：

- 1 桩帽应有符合要求的强度、刚度和耐打性；
- 2 桩帽套筒应与施打的管桩直径相匹配，桩帽下部套桩头用的套筒应做成圆筒形，圆筒形中心应与锤垫中心重合，套筒深度宜取 350~400mm，内径应比管桩外径大 20~30mm，严禁使用过渡性钢套，用大桩帽打小直径管桩；
- 3 打桩时桩帽套筒底面与桩头之间应设置桩垫，桩垫可采用纸版、棕绳、胶合板等材料制作，厚度应均匀一致，压缩后桩垫厚度应为 120~150mm，且应在打桩期间经常检查，及时更换或补充；
- 4 桩帽上部直接接触打桩锤的部位应设置锤垫，锤垫应用竖纹硬木或钢丝绳制作，其厚度应为 150mm~200mm，打桩前应进行检查、校正或更换。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.6 送桩器及其衬垫设置除应符合 8.4.10 条、8.5.5 条规定外，尚应符合下列规定：

1 插销式送桩器下端的插销长度宜取 200~300mm，外径应比桩内径小 20~30mm，对于内孔存有余浆的管桩，不应采用插销式送桩器；

2 送桩作业时，送桩器与桩头之间应设置桩垫，桩垫经锤击压实后的厚度不宜小于 60mm。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.7 锤击沉桩施工应符合下列规定：

1 首节桩插入时，应认真检查桩位及桩身垂直度偏差，校正后的垂直度偏差应不大于 $\pm 0.5\%$ ；

2 当管桩沉入地表土后就遇上厚度较大的淤泥层或松软的回填土时，柴油锤应采用不点火空锤的方式施打；液压锤应采用落距为 200mm~300mm 的方式施打；

3 管桩施打过程中，宜重锤轻击，应保持桩锤、桩帽和桩身的中心线在同一条直线上，并随时检查桩身的垂直度；

4 在较厚的黏土、粉质黏土层中施打管桩，宜将每根桩一次性连续打到底，减少中间休歇时间；

5 管桩内孔充满水或淤泥时，桩身上部应设置排气（水）孔；

6 重要工程应采用高应变法进行打桩过程监测，并对监测结果进行分析。

说明：住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.8 每根桩的总锤击数及最后 1m 沉桩锤击数以进行控制，PHC 管桩和 PRC 管桩总锤击数不宜超过 2000 击，最后 1m 锤击数不宜超过 300 击。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.9 沉桩的最后 1m 锤击数和最后贯入度量测应符合下列条件：

1 桩头和桩身完好；

2 桩锤、桩帽、桩身及送桩器中心线重合；

3 桩帽及送桩器套筒内衬垫厚度符合本标准规定；

4 打桩结束前即完成测定，不得间隔较长时间后才量测。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.10 最后贯入度不宜小于 30mm/10 击。最后贯入度宜连续测量 3 次，且应每一阵贯入度逐次递减并达到收锤标准。当持力层为较薄的强风化岩层且下卧层为中、微风化岩层时，最后贯入度可适当减小，但不宜小于 25mm/10 击，此时宜量测一阵锤的贯入度。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.11 管桩桩尖规格及构造应符合本标准附录 J 的规定。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406

8.5.12 锤击沉桩应考虑锤击震动对其他新浇筑混凝土结构物的影响，当结构物混凝土未达到 5MPa 时，距结构物 30m 范围内，不得进行沉桩。

说明：参考《港口工程桩基规范》

征求意见稿

9 质量检测及验收

9.1 一般规定

9.1.1 管桩基础工程质量检测应按施工前检测、施工过程检测和施工后检测三个阶段进行。

说明：主要参照四川省地标。强调管桩基础工程在施工前、施工中、施工后三个阶段的过程控制。

9.1.2 管桩基础工程的单桩承载力应在沉桩完毕满足休止时间后进行检测。休止时间应符合下列规定：

- 1 对砂土、卵石土场地，不应少于 7d；
- 2 对粉土场地，不应少于 10d；
- 3 黏性土场地，非饱和时不应少于 15d，饱和时不应少于 25d；
- 4 对遇水软化的岩石场地，不应少于 28d。

说明：参照四川省地标。砂土、卵石土的强度随时间的变化相对较少。当已岩石为桩端持力层时，由于管桩在施工过程中，对岩层产生强烈冲击作用，一方面对岩层的节理面产生挤压，使岩层的桩端土承载力提高，表现为桩的贯入度急剧减小，桩处于难打状态；另一方面，打桩的冲击力使得沉积岩又产生更多新的节理，如岩石的软化系数过低，则岩石的后期强度将大幅降低。因此，规定适当的休止时间是十分必要的。

9.1.3 对新近回填、产生负摩阻力或桩顶高于设计桩顶工程进行承载力检测时，宜采取措施消除回填土层、产生负摩阻力土层和设计桩顶以上土层侧阻力对承载力的影响或在确定承载力时扣除其正侧阻力对承载力的贡献。

说明：参照四川省地标。

9.1.4 基桩检测点位宜遵循下列原则布设：

- 1 施工范围内随机、均匀选点；
- 2 地质条件相对较差地段（区域）范围的桩；
- 3 荷载较大、对变形敏感、设计制定部位的桩；
- 4 施工质量有异议或出现过异常情况的桩；

5 部分完整性检测有缺陷的桩。

说明：参照四川省地标。

9.2 施工前检验

9.2.1 管桩运至现场应进行成品桩质量检查和验收。检查和验收应包括下列主要内容：

- 1 管桩的规格、型号的检查；
- 2 管桩的尺寸偏差、外观质量的抽检；
- 3 管桩端板的抽检；
- 4 管桩结构钢筋的抽检；
- 5 管桩混凝土强度的检查；
- 6 管桩力学性能的检查；
- 7 管桩堆放及桩身破损情况的检查等。

说明：参考辽宁省地方标准、四川省地方标准等

9.2.2 管桩的规格、型号应按设计要求，对产品合格证、运货单及管桩标识进行逐项、逐条检查；施工工艺对龄期有要求时，应进行龄期核查。

说明：参考辽宁省地方标准、四川省地方标准等

9.2.3 管桩的尺寸偏差、外观质量和单节长度应进行抽检，抽查数量不得少于管桩总桩节数量的 2%。当抽检结果出现一根桩节不符合质量要求时，应加倍检查，若再发现有不合格者，则该批桩不得使用。

说明：参考辽宁省地方标准、四川省地方标准等

9.2.4 管桩的外观质量应符合表 9.2.4 的规定。

表 9.2.4 管桩的外观质量

项 目	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
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

说明：参考 GB/T 13476、安徽省地标

9.2.5 管桩尺寸的允许偏差应符合表 9.2.5 的规定。

表 9.1.3 管桩尺寸允许偏差

项目	允许偏差	
桩长（L）	$\pm 0.5\%L$ 且不大于 50mm	
端部倾斜	$\leq 0.5\%D$	
D （mm）	600mm	+5 -2
	800mm~1400mm	+7 -4
壁厚（mm）	+20	0
保护层厚度（mm）	+5	0
桩身弯曲度	$l \leq 15m$	$\leq l/1000$
	$15m < l \leq 30m$	$\leq l/2000$
桩端板（mm）	外侧平面度	≤ 0.5
	外 径	0 -1
	内 径	0 -2
	厚 度	正偏差不限 0

说明：参考 GB/T 13476、安徽省地标，公路工程质量检验评定标准。

9.2.6 焊接接头应对管桩端板进行抽检。抽查数量不应少于桩节数量的 2%，检测结果应符合现行行业标准《先张法预应力混凝土管桩用端板》JC/T 947 和本规程的有关规定，重点应检查端板的材质、厚度和电焊坡口尺寸。凡端板材质、厚度或电焊坡口尺寸不合格的桩严禁使用。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406、辽宁省地标、四川省地标等。

9.2.7 机械连接接头应对桩端接头和连接部件进行抽检，抽检数量不应少于桩节数量的 2%。检测结果不符合要求的，该检验批的管桩不得使用。

说明：参考四川省地标

9.2.8 管桩的预应力钢棒数量和直径、螺旋筋直径、间距和加密区的长度，以及钢筋混凝土保护层厚度进行抽检。单位工程应随机选取桩节，抽检桩节数不应少于 2 根，每种规格、型号不宜少于 1 根。检测结果应符合设计要求、现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 和本规程的有关规定。同一检验批中有不合格的管桩时，该检验批的管桩不得使用，已施工的管桩应采取处理措施。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406、辽宁省地标、四川省地标等。

9.2.9 管桩应进行桩身混凝土强度随机抽检。单位工程抽检桩节数不应少于 2 根，每种规格、型号不宜少于 1 根；检测方法宜采用钻芯法或管桩全截面抗压试验方法。钻芯检测应符合国家标准《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19496 的有关规定。

说明：参考辽宁省地标、四川省地标等。

9.2.10 应对管桩抗弯性能、抗剪性能、抗裂性能进行抽检。每个检验批抽检桩节数不应少于两根，检验方法按现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 的有关规定执行，性能指标按本规程规定执行。抗弯性能、抗剪性能、抗裂性能判断不合格时，该检验批的管桩不准使用。

说明：参考辽宁省地标、安徽省地标等。

9.2.11 管桩运输、吊装过程中应对破损和裂缝的状态进行检查。破损或开裂的管桩严禁使用。

说明：参考四川省地标、辽宁省地标等。

9.2.12 现场堆叠的管桩应按本规程 8.2 节的有关要求检查堆放的场地条件、垫木材质、尺寸及位置、堆放层数等。

说明：参考四川省地标

9.2.13 应对桩尖的规格、构造、钢板厚度、桩尖尺寸、焊缝质量进行抽检。每个检验批次的抽检数量不应少于总桩数的 2%；单个桩尖重量不应低于理论重量的 90%，不合格者禁止使用。

说明：参考安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标

9.2.14 混凝土管桩，可采用敲击听声法检测端板处的混凝土密实程度。

说明：参考安徽省地标。

9.2.15 施工机具检查结果应满足本规程第 8 章的有关要求，并应进行下列检查：

- 1 现场配备的施工机具与施工要求的符合性；
- 2 送桩器的构造和尺寸以及其端板所设置的衬垫厚度；
- 3 配备打桩自动记录仪时，应检查自动记录仪正常运作状态。

说明：参考四川省地标

9.3 施工过程监测

9.3.1 沉桩施工过程中应进行下列项目的检查和检测：

- 1 桩的定位及压桩就位前的复测；
- 2 桩身垂直度检测；
- 3 桩接头施工质量监控；
- 4 收锤（终压）监控；
- 5 沉桩记录的审核；
- 6 桩挤土效应的监测；
- 7 沉桩对周边环境影响的监测；
- 8 基坑开挖和截桩头的监督等。

说明：参考安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标等

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

说明：参考安徽省地标、四川省地标

9.3.3 桩身垂直度检查应符合下列规定：

- 1 首先应检查第一节桩定位时的垂直度；当垂直度偏差不大于 0.5%时，方可进行沉桩施工；
- 2 在沉桩过程中，及时抽检桩身垂直度，并应随时注意保证送桩器和桩身中心线在同一直线上；
- 3 送桩前应对桩身垂直度进行量测；
- 4 管桩基础承台施工前，应在土方开挖后复测桩身垂直度。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406、安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标等

9.3.4 桩连接质量控制应符合下列规定：

- 1 焊接工艺应检查焊条质量和直径、焊接所用的时间、焊完后的停歇时间；
- 2 焊缝应满足二级焊缝要求，并应对电焊接头总量 10%的焊缝进行探伤检测；
- 3 机械连接接头应检查接头零部件的数量、尺寸、连接销的方位、接头啮合后的状况；
- 4 桩尖与管桩的连接要求按接桩标准进行检查。

说明：参考四川省地标

9.3.5 终止施工条件检查应符合下列规定：

- 1 锤击法沉桩应根据收锤标准检查桩的入土深度、总锤击数和最后 1m 锤击数，最后三阵锤的每一阵贯入度；
- 2 静压法沉桩应根据终压控制标准进行检查。

说明：参考四川省地标。通过设计试桩，桩长、总锤击数和最后 1m 锤击数是现场比较容易控制的数据；贯入度精度要求高，误差大。存在的问题是柴油锤喷油量会影响效果。

9.3.6 沉桩记录应齐全、真实、清楚，检查应符合下列规定：

- 1 配置自动记录仪应对所记录的各项数据进行逻辑分析判断；
- 2 当采用人工记录时，应对作业班组所安排专人记录的内容进行检查；
- 3 每个环节、工序完成后，施工记录应经监理人员签名确认，并作为有效的施工记录保存。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406、安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标。

9.3.7 当沉桩产生挤土效应造成桩身偏位上浮时，应监测单桩沉桩完成时的桩顶标高和全部工程桩完成后的桩顶标高，并应符合下列规定：

- 1 沉桩过程中，对工程桩总数的 20%进行测量和记录，计算前后标高、位移差；
- 2 当发现桩顶上浮超过 10mm 时，应与设计、监理等有关人员研究处理后方可继续施工。

说明：参考安徽省地标。

9.3.8 施工过程中，应监测施工对周围环境的影响。监测应符合下列规定：

- 1 应根据施工组织方案检查工程桩的施工顺序；
- 2 当施工振动或挤土可能危及周边的构造（建筑）物、道路、公路（市政）设施时，沉桩时应监测周边构造（建筑）物的变形和裂缝情况以及工地现场土体的变化；

3 对挤土效应明显或大面积群桩基础，应抽样监测已施工工程桩的上浮量及桩顶偏位值，工程桩的监测数量不应少于 1%且不得少于 10 根。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406、安徽省地标

9.3.9 沉桩过程中，若遇到贯入度剧变，桩身突然发生倾斜、移位或有严重回弹，桩顶出现严重裂缝、破碎，桩身开裂等情况时，应暂停沉桩，查明原因，采取有效措施后方可继续沉桩。

说明：参考住建部行业标准 JGJ/T 406

9.3.10 桩端持力层为遇水易软化风化岩层时，应及时检查预防渗水软化措施。

说明：和前面的内容有对应。

9.3.11 沉桩完成后，应检查基桩管口及送桩遗留孔洞的封盖情况。

说明：参考安徽省地标、四川省地标等。

9.3.12 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，方可进行接桩处理。

说明：参考安徽省地标。

9.4 施工后检验

9.4.1 管桩施工完成后，应对管桩进行下列检测：

- 1 桩顶标高；
- 2 桩身垂直度；
- 2 桩位偏差；
- 3 桩身结构完整性；
- 4 单桩承载力。

说明：参考安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标等

9.4.2 桩顶标高可用水准仪量测，抽检数量不少于总桩数的 20%，允许偏差为-50mm 或按设计要求执行。

说明：参考四川省地标等。允许偏差安徽省和辽宁省规定为 $\pm 10\text{mm}$ ，四川省规定为 $\pm$

50mm；我院设计桥梁的桩基承台时，桩顶深入承台的深度通常为 150mm，桥规规定宜为 100mm，设计偏差-50mm 是比较合适的，同时满足《公路工程质量检验评定标准》“桩底高程不高于设计值”的规定。

9.4.3 成桩桩身垂直度检查应符合下列规定：

- 1 管桩基础承台施工前，应对桩身垂直度进行逐根检查；
- 2 可利用送桩前桩头露出自然地面 1.0~1.5m 时测得的桩身垂直度作为该桩的成桩垂直度；但深基坑内的基桩，应待深基坑土方开挖后再次测量桩身垂直度；
- 3 桩身垂直度允许偏差为 1%；
- 4 斜桩切斜度的偏差不得大于倾斜角正切值的 15%。

说明：参考安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标等

9.4.4 桩位宜采用全站仪进行测量，桩位偏差应符合表 9.4.4 的规定。

表 9.4.4 管桩桩位的允许偏差

项目		允许偏差（mm）
柱下单桩		40
排架桩	顺桥方向	40
	垂直桥轴方向	50
承台桩数为 2~4 根的桩		100
承台桩数为 5~16 根的桩	周边桩	100
	中间桩	150
承台桩数多于 16 根的桩	周边桩	150
	中间桩	250

注：D 为管桩外径。

说明：参考安徽省地标、四川省地标、辽宁省地标等，对单桩和排架桩以及群桩的中间桩允许偏差值按《公路工程质量检验评定标准》要求更严格。

9.4.5 公路桥梁管桩基础宜逐根进行桩身完整性的验收检测。桩身完整性可采用低应变法进行检测；检测结果有疑问时，应采用孔内摄像法进行检测。

说明：参考《公路工程质量检验评定标准》、安徽省地标等。

9.4.6 工程桩施工完成后应进行承载力验收检测，并应符合下列规定：

- 1 采用静荷载试验检测单桩竖向承载力时，在同一条件下随机检测桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根；总桩数在 50 根以内时不得少于 2 根。
- 2 可采用高应变动测法检测单桩竖向承载力时，在同一条件下的检测桩数不应少于

总桩数的 2~5%，且不应少于 5 根。

3 出现桩身上浮、非 I 类 II 类桩、倾斜度超过本规程要求的管桩，不得采用高应变动测法对单桩竖向承载力进行检测。

说明：参考安徽省地标、《港口工程桩基规范》。

9.4.7 高应变动测法结果用于确定管桩竖向承载力设计值时，应符合下列规定：

- 1 相同条件桩基的动静对比资料较多；
- 2 试桩经验丰富；

说明：参考广东省地标《锤击式预应力混凝土桩基础技术规程》

9.4.8 检测验证应符合下列规定：

- 1 桩身结构浅部缺陷可采用开挖验证，或采用高应变法验证；
- 2 单桩竖向抗压承载力应采用单桩竖向抗压静载试验验证。

说明：参考四川省地标。

9.5 管桩工程验收

9.5.1 管桩基础工程验收应在桩基承台土方开挖或截桩后分批进行验收。

说明：参考四川省地标等

9.5.2 工程验收时应具备下列资料：

- 1 管桩的出厂合格证、产品检验报告；
- 2 管桩进场验收记录；
- 3 一个检验批次中单节管桩送检的破坏性试验报告；
- 4 桩位测量放线图，包括桩位复核签证单；
- 5 工程地质勘察报告；
- 6 图纸会审记录及设计变更单；
- 7 经批准的施工组织设计或管桩施工专项方案及技术交底资料；
- 8 沉桩施工记录汇总，包括桩位编号图；
- 9 沉桩完成后的桩顶标高；
- 10 管桩接桩隐蔽验收记录；
- 11 沉桩工程竣工图；

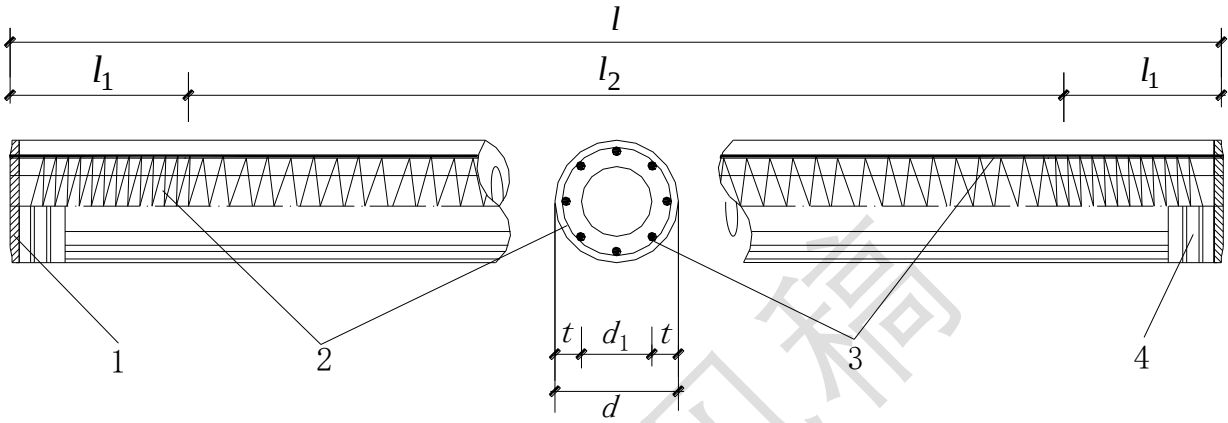
- 12 质量事故处理记录；
- 13 试沉桩记录；
- 14 桩身完整性检测及承载力检测报告；
- 15 管桩施工措施记录，包括孔内混凝土灌实深度、配筋或插筋数量、混凝土试块强度等记录。

说明：参考安徽省地标等

征求意见稿

附录 A 管桩结构形式、桩身配筋和管桩与承台连接构造

A.0.1 PHC 管桩结构配筋如图 A. 0. 1 所示，相关参数表可按表 A. 0. 1 取值。



t —壁厚； l —桩长； d —管桩外径； d_1 —管桩内径； l_1 —桩端加密区长度；
 l_2 —非加密区长度；1—端板；2—螺旋筋；3—预应力钢棒；4—桩套箍

图 A.0.1 PHC 管桩结构配筋图

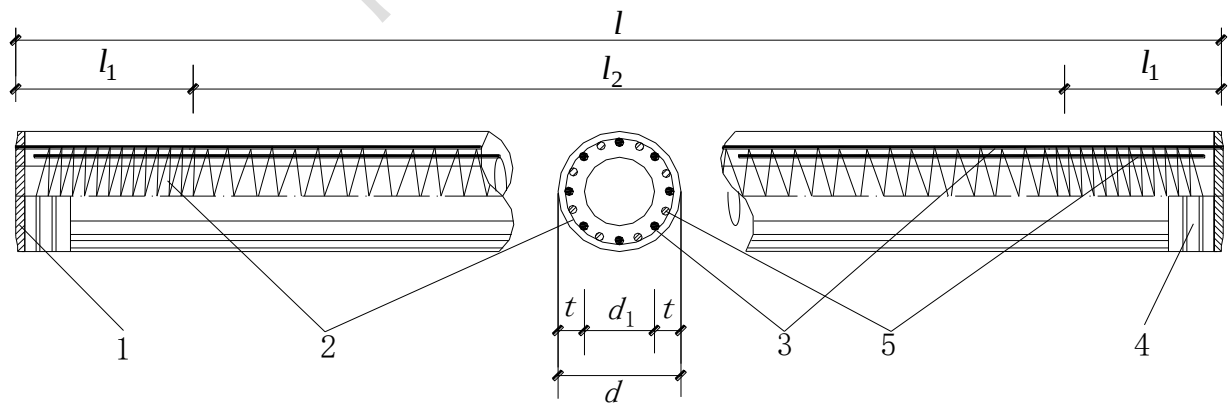
表 A. 0. 1 PHC 管桩配筋参数表

外径 d (mm)	壁厚 t (mm)	型号	预应力钢筋配筋	螺旋筋 规格	预应力钢筋分布 圆直径 D_p (mm)	混凝土有效预压 应力 σ_{ce} (N/mm ²)
600	110	A	14 ϕ^D 9.0	ϕ^b5	506	4.60
		AB	14 ϕ^D 10.7			6.26
		B	14 ϕ^D 12.6			8.34
		C	17 ϕ^D 12.6			9.81
	130	A	16 ϕ^D 9.0	ϕ^b5	506	4.63
		AB	16 ϕ^D 10.7			6.31
		B	16 ϕ^D 12.6			8.40
		C	20 ϕ^D 12.6			10.12
800	110	A	15 ϕ^D 10.7	ϕ^b6	690	4.89
		AB	15 ϕ^D 12.6			6.58
		B	30 ϕ^D 10.7			9.01
		C	30 ϕ^D 12.6			11.76

续表 A.0.1 PHC 管桩配筋参数表

外径 d (mm)	壁厚 t (mm)	型号	预应力钢筋配筋	螺旋筋 规格	预应力钢筋分布 圆直径 D_p (mm)	混凝土有效预压 应力 σ_{ce} (N/mm ²)
800	130	A	16 ϕ^D 10.7	ϕ^b6	690	4.57
		AB	16 ϕ^D 12.6			6.16
		B	32 ϕ^D 10.7			8.47
		C	32 ϕ^D 12.6			11.10
1000	130	A	32 ϕ^D 9.0	ϕ^b6	880	4.97
		AB	32 ϕ^D 10.7			6.75
		B	32 ϕ^D 12.6			8.97
		C	32 ϕ^D 14.0	ϕ^b8		10.65
1200	150	A	30 ϕ^D 10.7	ϕ^b6	1060	4.73
		AB	30 ϕ^D 12.6			6.36
		B	45 ϕ^D 12.6			9.04
		C	45 ϕ^D 14.0	ϕ^b8		10.73
1400	150	A	25 ϕ^D 12.6	ϕ^b7	1260	4.61
		AB	50 ϕ^D 10.7			6.41
		B	50 ϕ^D 12.6	ϕ^b8		8.53
		C	50 ϕ^D 14.0			10.15

A.0.2 PRC 管桩结构配筋如图 A.0.2 所示，相关参数表可按表 A.0.2 取值。



t —壁厚； l —桩长； d —管桩外径； d_1 —管桩内径； l_1 —桩端加密区长度；
 l_2 —非加密区长度；1-端板；2-螺旋筋；3-预应力钢棒；4-桩套箍；5-非预应力钢筋

图 A.0.2 PRC 管桩的结构形式

表 A.0.2 PRC 管桩配筋参数表

外径 d (mm)	壁厚 t (mm)	型号	预应力钢筋 配筋	普通钢筋 配筋	螺旋筋规格	预应力钢筋 分布圆直径 D_p (mm)	混凝土有效 预压应力 σ_{ce} (N/mm ²)
600	110	AB	14 ϕ^D 10.7	14 12	ϕ^b5	506	6.00
		B	16 ϕ^D 10.7	16 12			6.71
		C	14 ϕ^D 12.6	14 12			8.00
		D	16 ϕ^D 12.6	16 12			8.91
	130	AB	16 ϕ^D 10.7	16 12	ϕ^b5	506	6.04
		B	18 ϕ^D 10.7	18 12			6.67
		C	16 ϕ^D 12.6	16 12			8.06
		D	18 ϕ^D 12.6	18 12			8.86
800	110	B	24 ϕ^D 10.7	24 12	ϕ^b6	690	7.08
		C	24 ϕ^D 12.6	24 12			9.37
	130	B	24 ϕ^D 10.7	24 12	ϕ^b6	690	6.31
		C	24 ϕ^D 12.6	24 12			8.40
1000	130	B	26 ϕ^D 10.7	26 12	ϕ^b6	880	5.40
		C	26 ϕ^D 12.6	26 12			7.23
1200	150	A	30 ϕ^D 10.7	30 12	ϕ^b6	1060	4.58
		AB	30 ϕ^D 12.6	30 12			6.17

A.0.3 管桩与承台连接可参考图 A.0.3 所示进行设计。

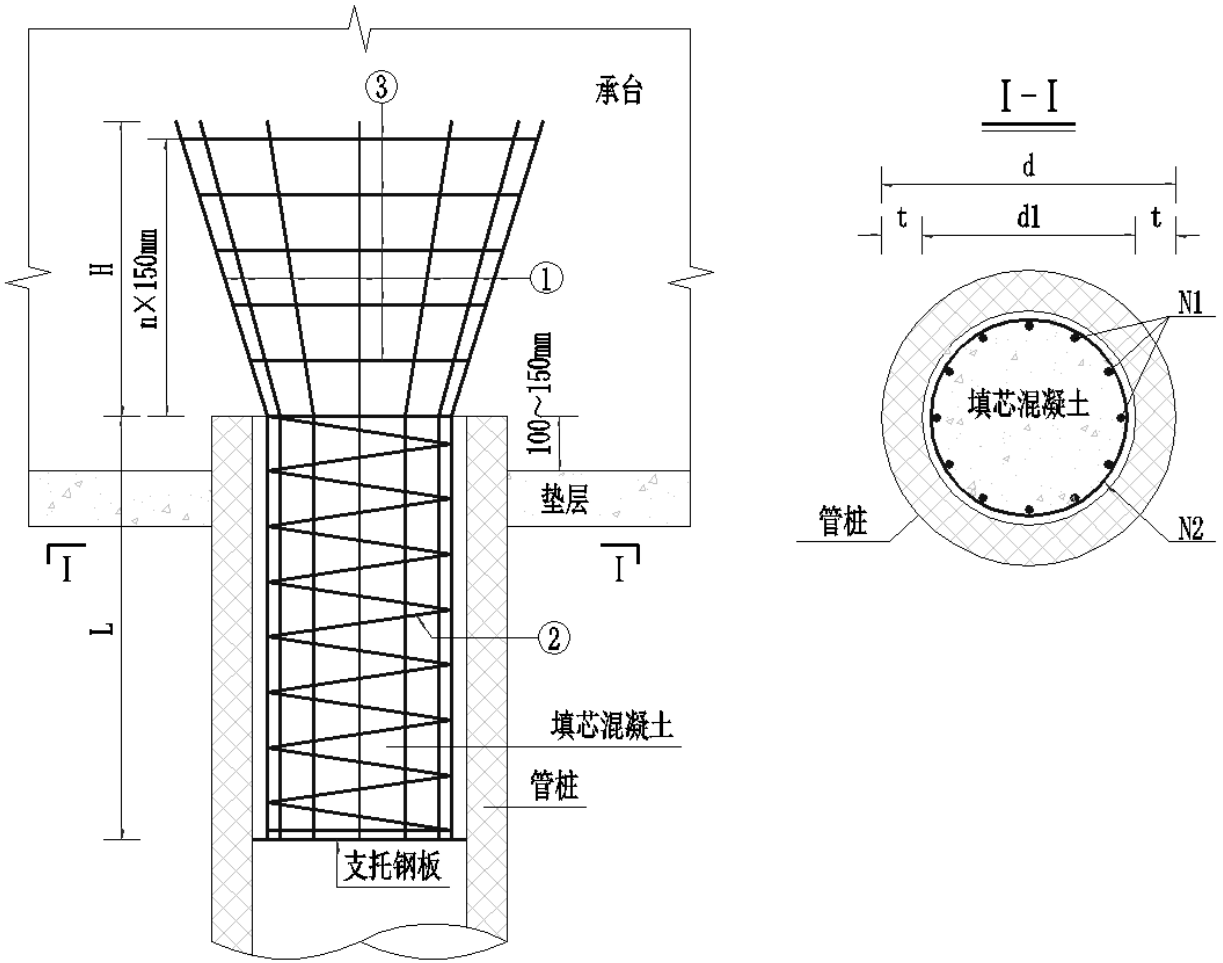


图 A.0.3 受压管桩与承台连接构造图

附录 B 管桩桩身力学性能设计用表

B.0.1 PHC 管桩桩身力学性能设计值可按表 B.0.1 取用。

表 B.0.1 PHC 管桩桩身力学性能设计值

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	桩身受弯承载力 设计值[M] (kN·m)	桩身受剪承载力 设计值[V] (kN)	桩身轴心受拉承 载力设计值[T] (kN)	桩身轴向受压承 载力容许值[R _a] (kN)	设计抗裂弯矩 [M _k] (kN·m)	设计轴心抗裂 拉力[T _k] (kN)	理论重量 (kg/m)
600	110	A	204	264	731	3061	158	796	440
		AB	278	298	1028	3061	190	1094	
		B	367	336	1428	3061	231	1474	
		C	426	360	1734	3061	260	1750	
	130	A	224	305	836	3470	169	909	499
		AB	306	344	1175	3470	204	1249	
		B	404	388	1632	3470	248	1683	
		C	479	420	2040	3470	286	2050	
800	110	A	430	375	1102	4311	333	1194	620
		AB	577	422	1530	4311	400	1620	
		B	778	481	2203	4311	498	2252	
		C	974	540	3060	4311	614	2993	

续表 B.0.1 PHC 管桩桩身力学性能设计值

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	桩身受弯承载力 设计值 $[M]$ ($kN \cdot m$)	桩身受剪承载力 设计值 $[V]$ (kN)	桩身轴心受拉承 载力设计值 $[T]$ (kN)	桩身轴向受压承 载力容许值 $[R_a]$ (kN)	设计抗裂弯矩 $[M_k]$ ($kN \cdot m$)	设计轴心抗裂 拉力 $[T_k]$ (kN)	理论重量 (kg/m)
800	130	A	448	423	1175	4947	352	1279	711
		AB	605	475	1632	4947	420	1739	
		B	823	542	2350	4947	522	2422	
		C	1043	609	3264	4947	643	3228	
1000	130	A	821	561	1671	6424	636	1809	924
		AB	1115	634	2350	6424	769	2483	
		B	1457	714	3264	6424	939	3338	
		C	1693	769	4021	6424	1071	4006	
1200	150	A	1312	766	2203	8945	1043	2393	1286
		AB	1767	860	3060	8945	1249	3251	
		B	2467	996	4590	8945	1593	4689	
		C	2864	1073	5655	8945	1818	5626	
1400	150	A	1800	926	2550	9797	1541	2761	1409
		AB	2493	1055	3672	9797	1888	3871	
		B	3251	1187	5100	9797	2303	5202	
		C	3769	1279	6283	9797	2626	6239	

B.0.2 PRC 管桩桩身力学性能设计值可按表 B.0.2 取用。

表 B.0.2 PRC 管桩桩身力学性能设计值

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	桩身受弯承载力 设计值 $[M]$ ($kN \cdot m$)	桩身受剪承载力 设计值 $[V]$ (kN)	桩身轴心受拉承 载力设计值 $[T]$ (kN)	桩身轴向受压承 载力容许值 $[R_a]$ (kN)	设计抗裂弯矩 $[M_k]$ ($kN \cdot m$)	设计轴心抗裂 拉力 $[T_k]$ (kN)	理论重量 (kg/m)
600	110	AB	386	293	1472	3061	192	1088	440
		B	430	307	1683	3061	208	1230	
		C	465	330	1872	3061	233	1469	
		D	513	345	2140	3061	253	1654	
	130	AB	427	339	1683	3470	207	1243	499
		B	471	352	1893	3470	222	1385	
		C	515	381	2140	3470	252	1677	
		D	562	397	2407	3470	271	1863	
800	110	B	890	434	2524	4311	440	1834	620
		C	1054	489	3209	4311	538	2463	
	130	B	894	479	2524	4947	445	1857	711
		C	1073	540	3209	4947	542	2502	
1000	130	B	1288	579	2734	6424	692	2040	924
		C	1566	652	3477	6424	834	2761	
1200	150	A	1834	756	3155	8945	1055	2383	1286
		AB	2254	850	4012	8945	1260	3239	

附录 C 管桩桩身力学性能检验值

C.0.1 PHC 管桩桩身力学性能检验值可按表 C.0.1 取用。

表 C.0.1 PHC 管桩力学性能检验值

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	混凝土有效 预压应力 $\sigma_{ce}(N/mm^2)$	极限弯矩 检验值 $M_u(kN \cdot m)$	开裂弯矩 检验值 $M_{cr}(kN \cdot m)$	开裂剪力 检验值 $V_{cr}(kN)$
600	110	A	4.60	302	191	335
		AB	6.26	412	223	374
		B	8.34	544	265	418
		C	9.81	632	295	446
	130	A	4.63	332	205	387
		AB	6.31	454	240	432
		B	8.40	601	285	482
		C	10.12	714	323	520
800	110	A	4.89	635	401	474
		AB	6.58	853	468	528
		B	9.01	1152	568	597
		C	11.76	1452	684	667
	130	A	4.57	663	426	536
		AB	6.16	896	495	596
		B	8.47	1220	598	674
		C	11.10	1555	720	752
1000	130	A	4.97	1215	765	710
		AB	6.75	1649	899	793
		B	8.97	2160	1070	886
		C	10.65	2518	1204	951
1200	150	A	4.73	1940	1260	970
		AB	6.36	2613	1467	1079
		B	9.04	3657	1815	1237
		C	10.73	4258	2042	1327
1400	150	A	4.61	2678	1790	1140
		AB	6.41	3729	2117	1283
		B	8.53	4909	2513	1433
		C	10.15	5747	2823	1537

C.0.1 PRC 管桩桩身力学性能检验值可按表 C.0.2 取用。

表 C.0.2 PRC 管桩力学性能检验值

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	混凝土有效 预压应力 $\sigma_{ce}(N/mm^2)$	极限弯矩 检验值 $M_u(kN \cdot m)$	开裂弯矩 检验值 $M_{cr}(kN \cdot m)$	开裂剪力 检验值 $V_{cr}(kN)$
600	110	AB	6.00	543	227	368
		B	6.71	608	243	384
		C	8.00	664	268	411
		D	8.91	735	289	429
	130	AB	6.04	602	245	425
		B	6.67	665	260	441
		C	8.06	737	289	475
		D	8.86	806	309	493
800	110	B	7.08	1256	512	543
		C	9.37	1511	610	607
	130	B	6.31	1261	523	601
		C	8.40	1535	621	671
1000	130	B	5.40	1812	825	731
		C	7.23	2233	969	814
1200	150	A	4.58	2576	1277	959
		AB	6.17	3209	1484	1066

附录 D 管桩偏心受压 N-M 曲线

D.0.1 PHC 管桩 A 型偏心受压 N-M 曲线如图 D.0.1 所示。

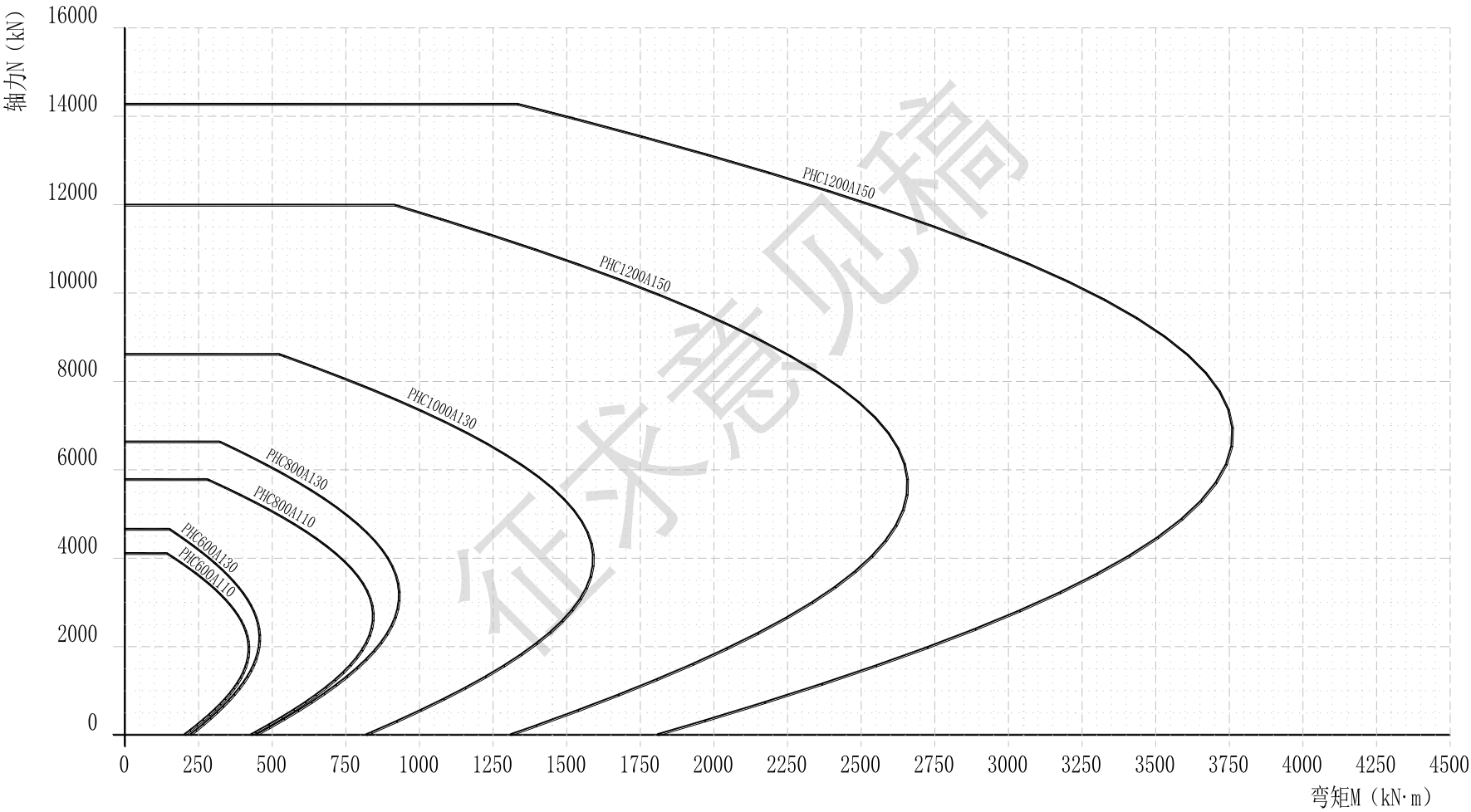


图 D.0.1 偏心受压 N-M 曲线示意

D. 0. 2 PHC 管桩 AB 型偏心受压 N-M 曲线如图 D. 0. 2 所示。

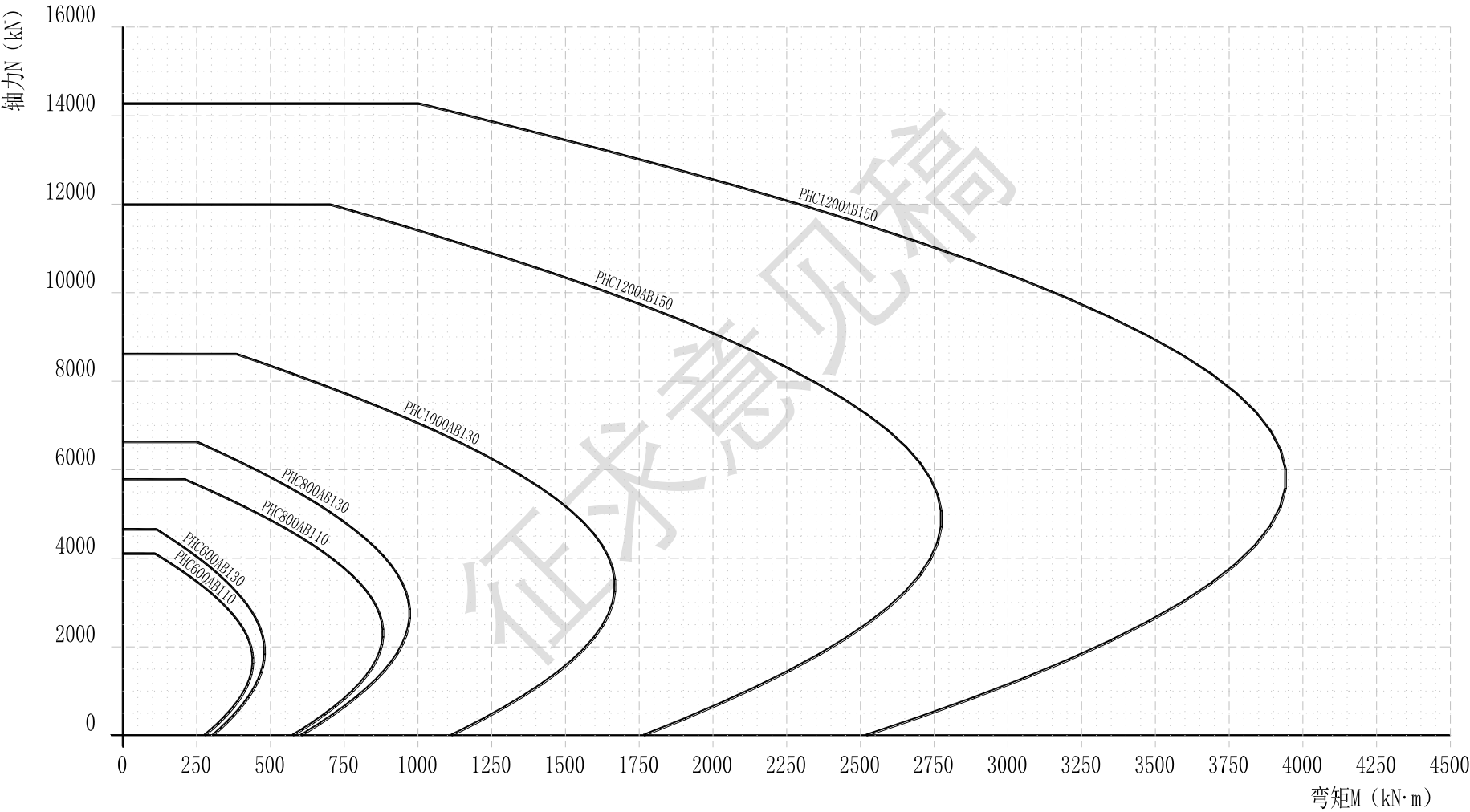


图 D. 0. 2 偏心受压 N-M 曲线示意

D. 0. 3 PHC 管桩 B 型偏心受压 N-M 曲线如图 D. 0. 3 所示。

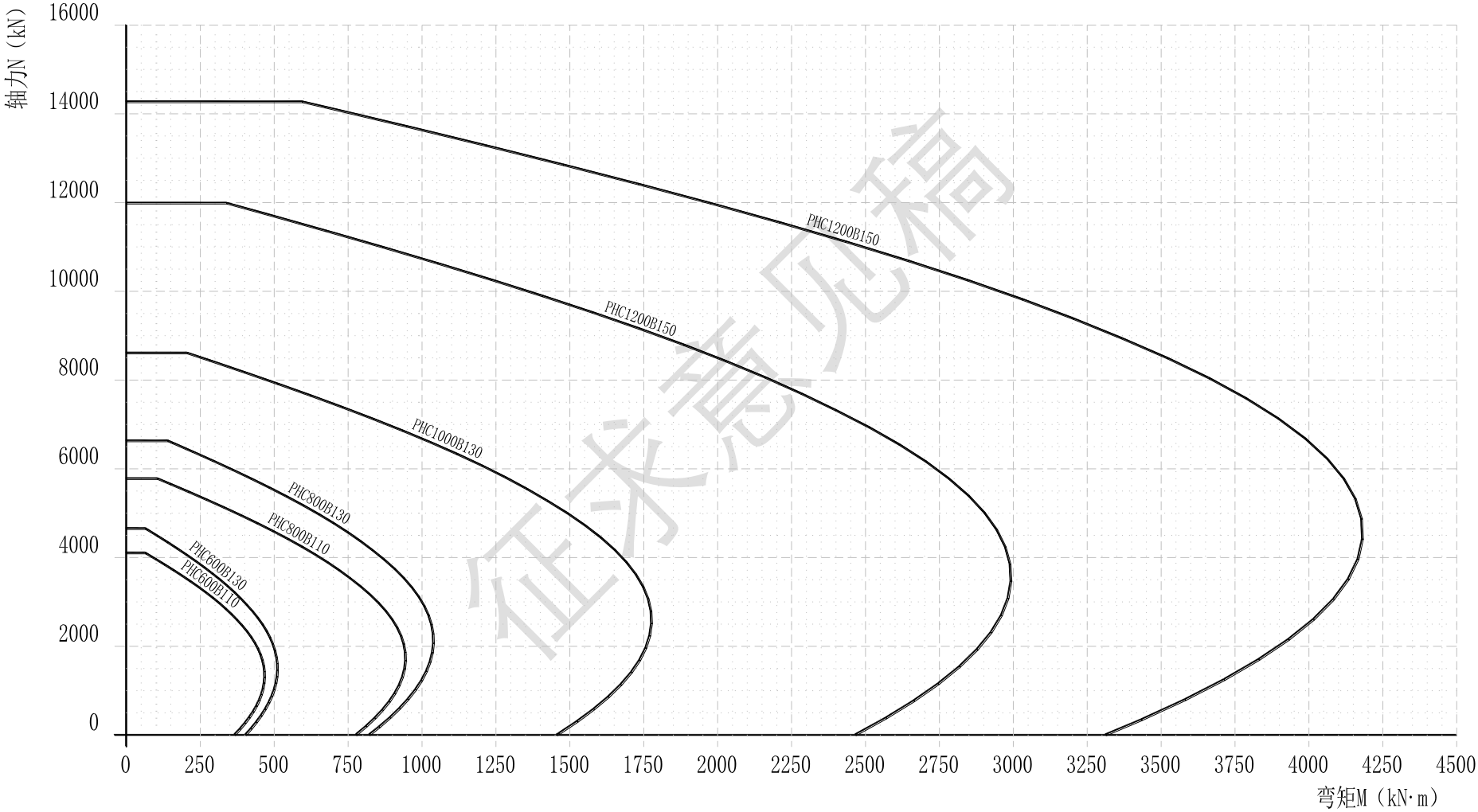


图 D. 0. 3 偏心受压 N-M 曲线示意

D.0.4 PHC 管桩 C 型偏心受压 N-M 曲线如图 D.0.4 所示。

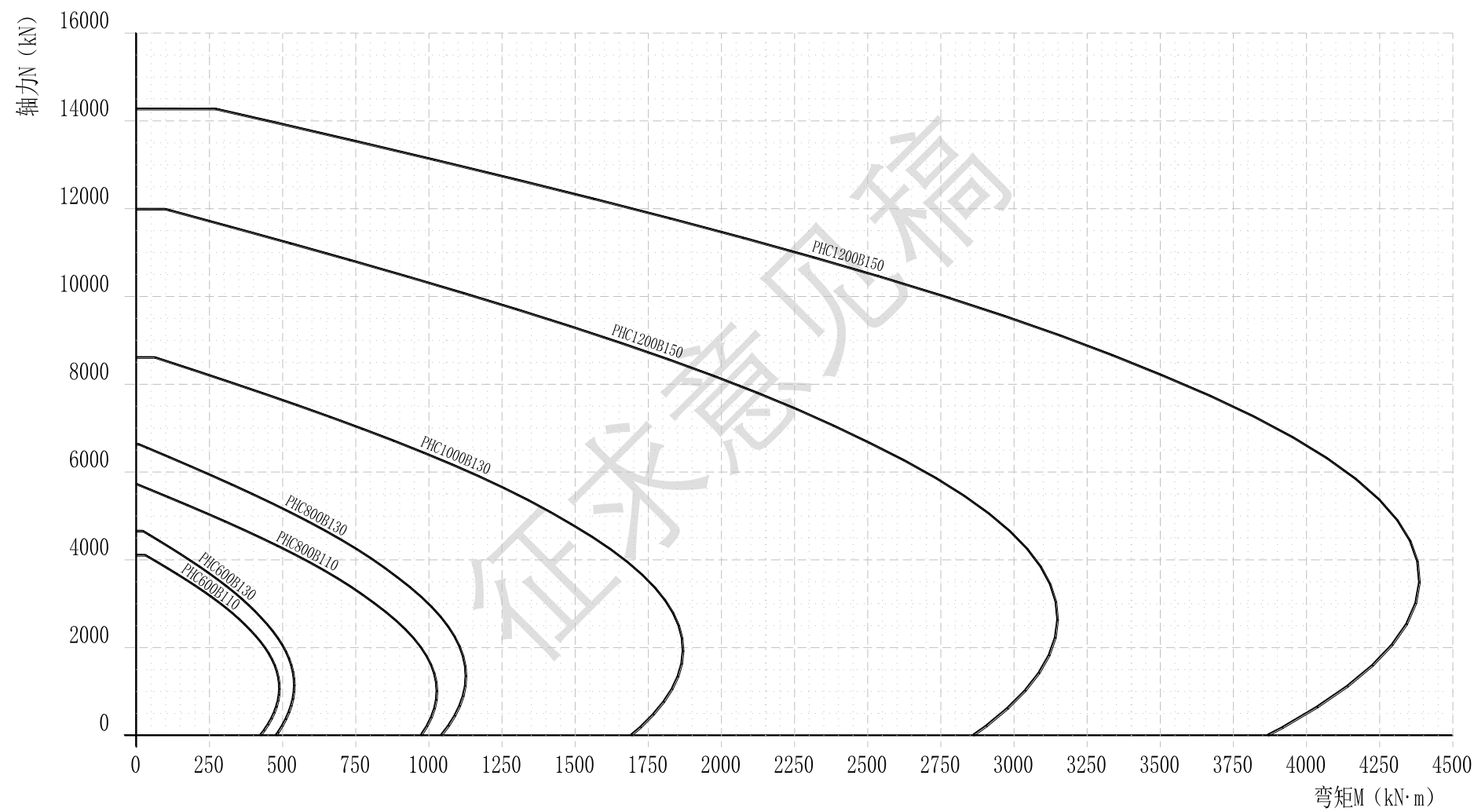


图 D.0.4 偏心受压 N-M 曲线示意

D. 0. 5 PRC 管桩 A 型偏心受压 N-M 曲线如图 D. 0. 5 所示。

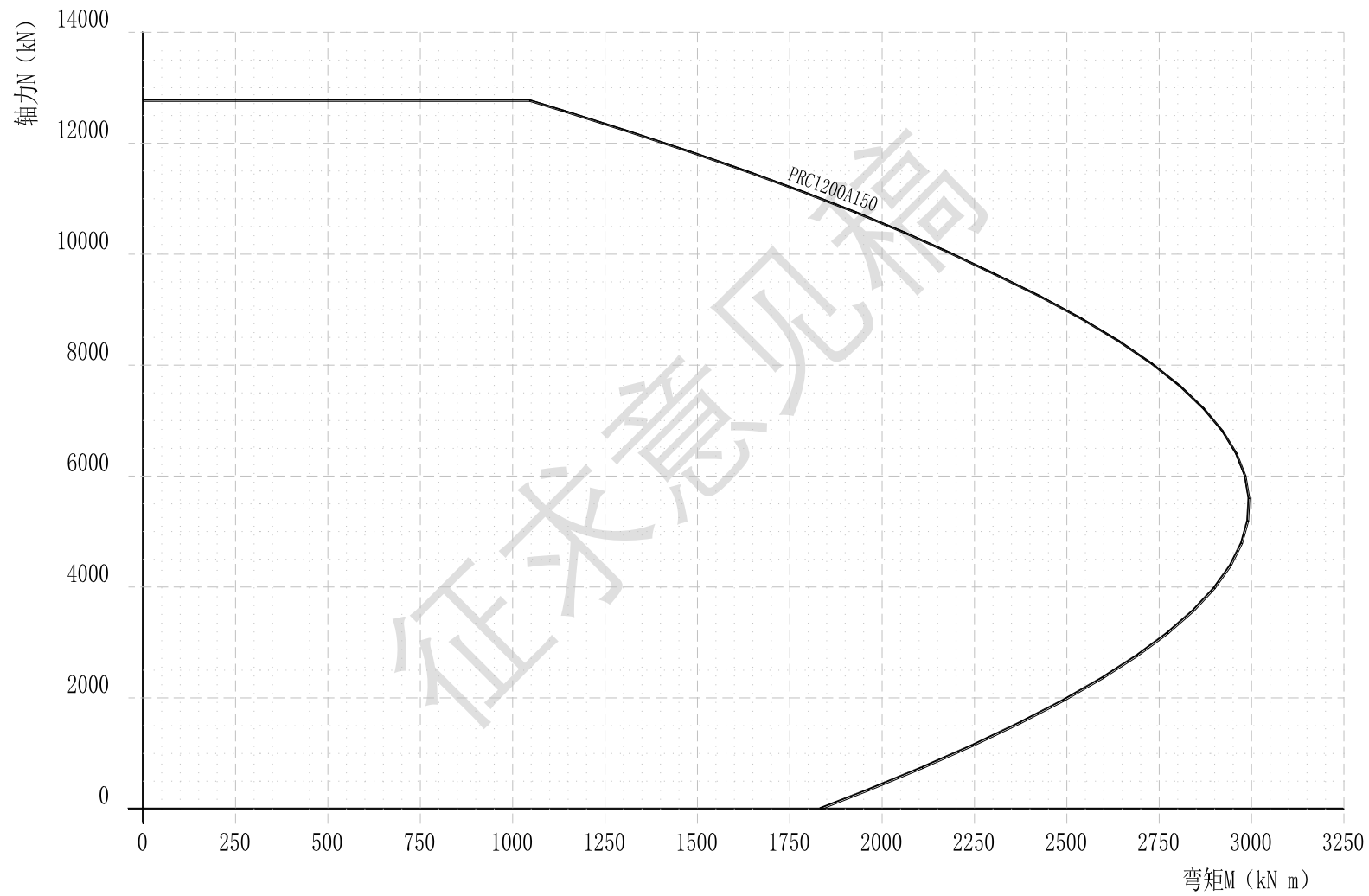


图 D. 0. 5 偏心受压 N-M 曲线示意

D.0.6 PRC 管桩 AB 型偏心受压 N-M 曲线如图 D.0.6 所示。

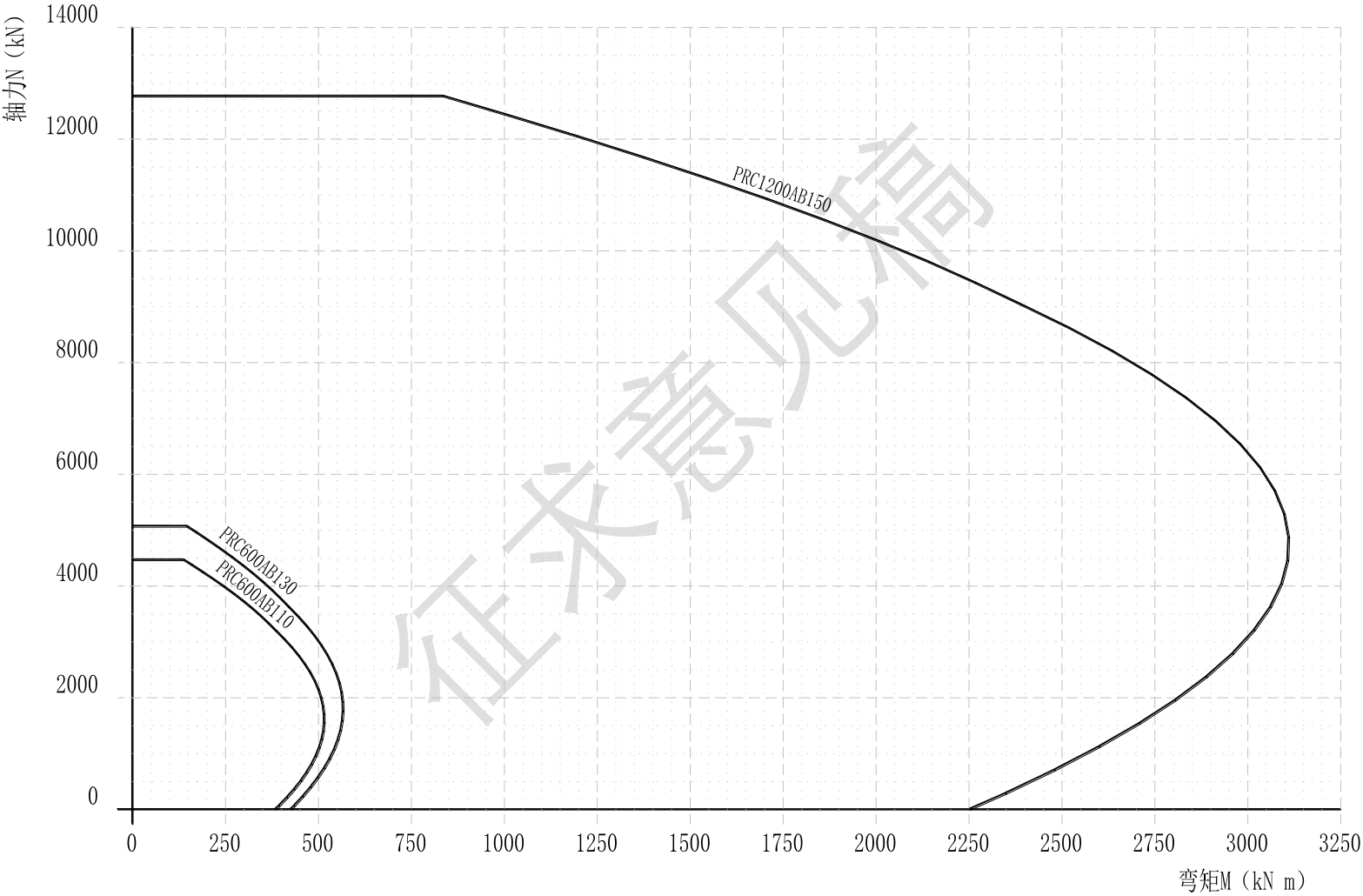


图 D.0.6 偏心受压 N-M 曲线示意

D. 0. 7 PRC 管桩 B 型偏心受压 N-M 曲线如图 D. 0. 7 所示。

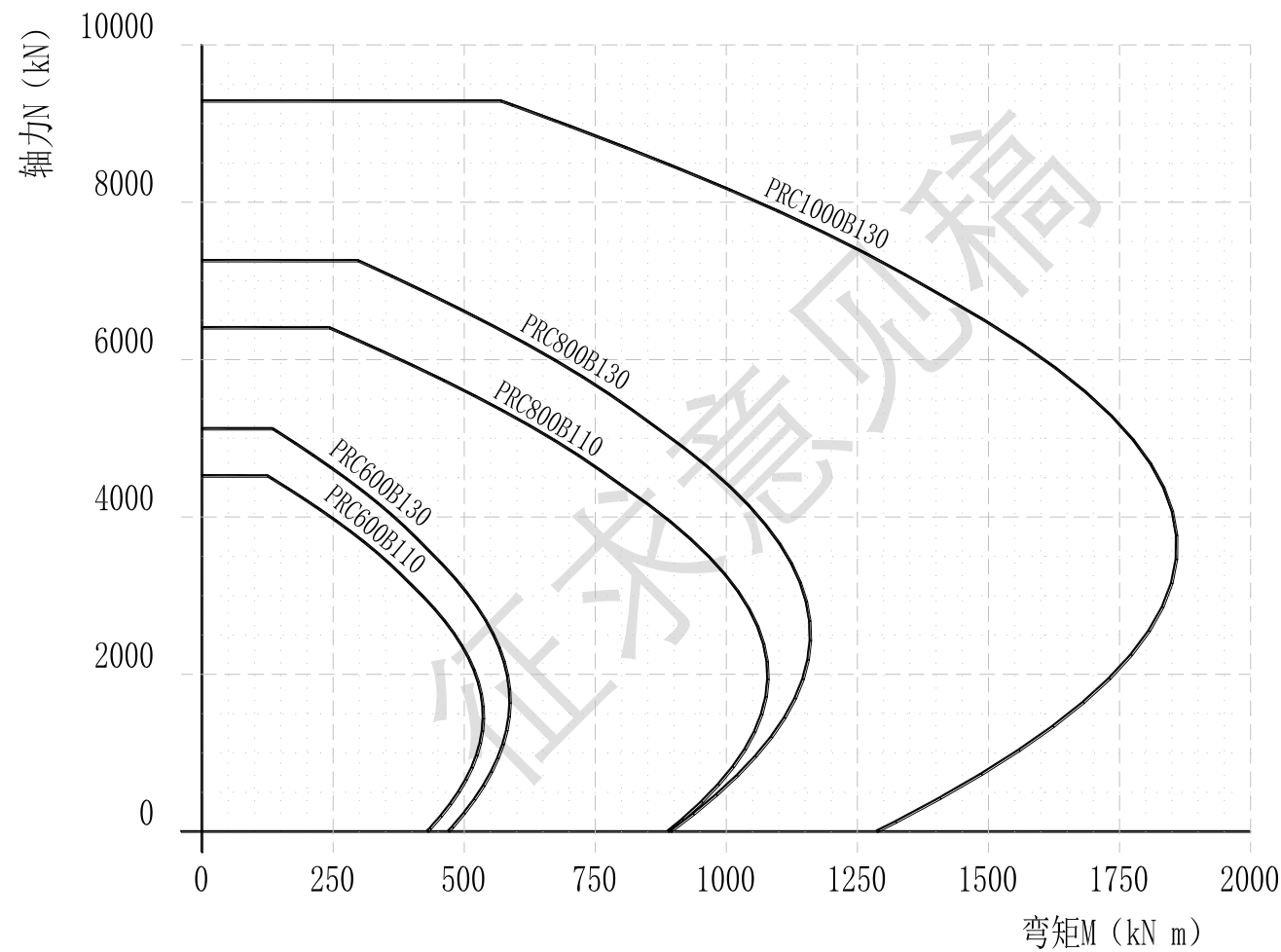


图 D. 0. 7 偏心受压 N-M 曲线示意

D. 0. 8 PRC 管桩 C 型偏心受压 N-M 曲线如图 D. 0. 8 所示。

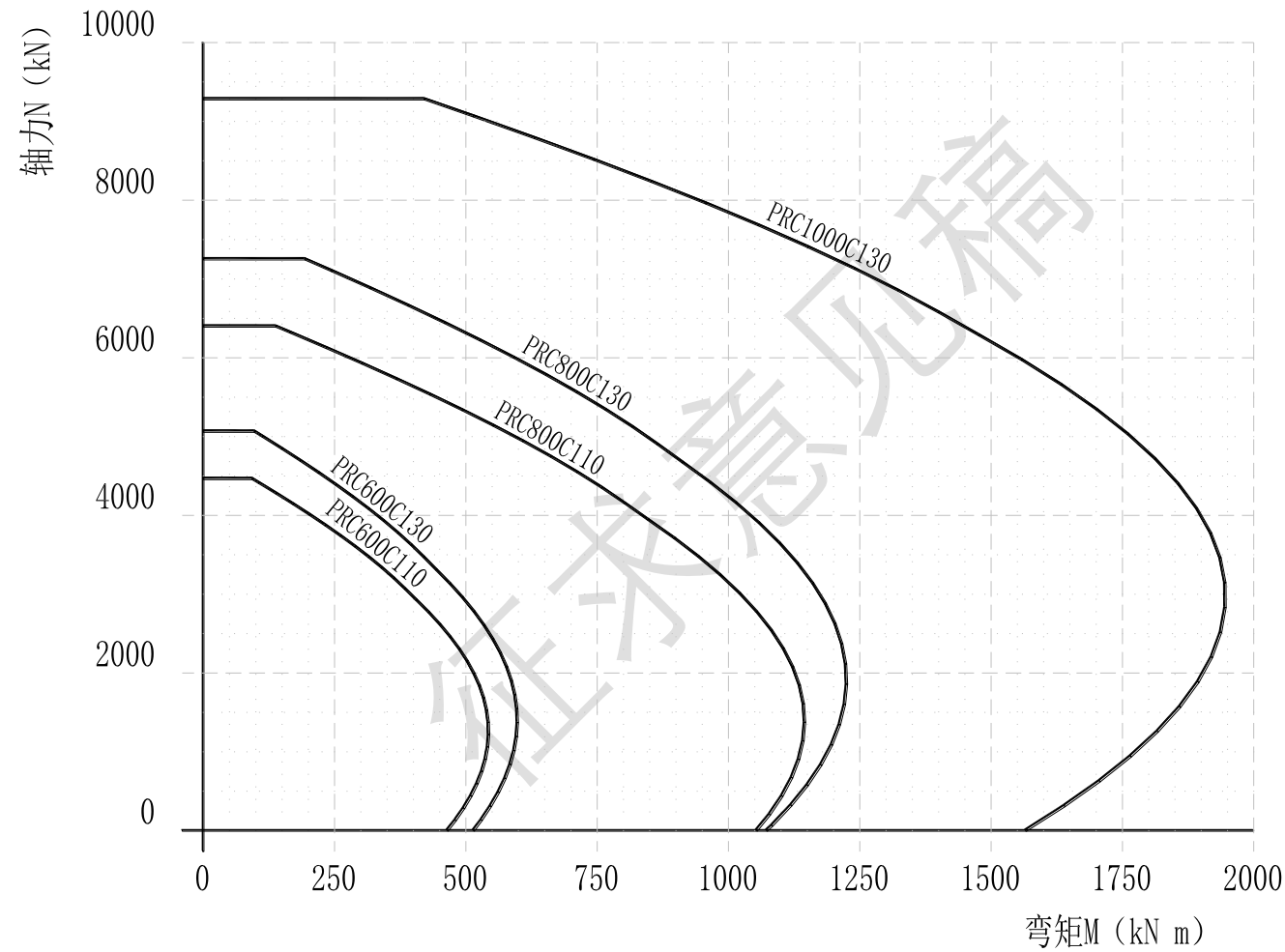


图 D. 0. 8 偏心受压 N-M 曲线示意

D.0.9 PRC 管桩 D 型偏心受压 N-M 曲线如图 D.0.9 所示。

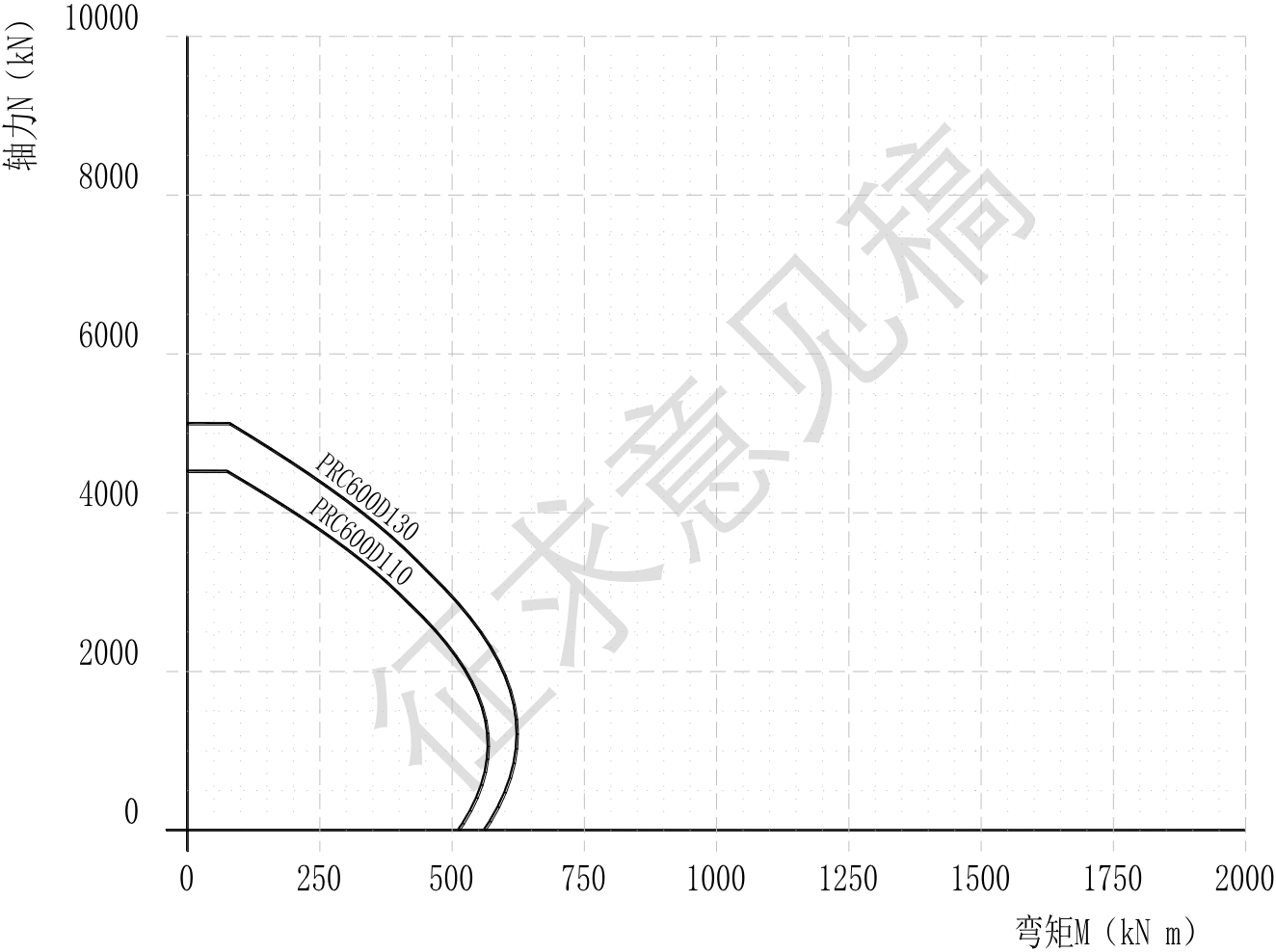


图 D.0.9 偏心受压 N-M 曲线示意

附录 E 静压沉桩施工记录表

表 E 静压沉桩施工记录表

编号：

工程名称										施工单位										监理单位									
制桩单位										桩规格				接头形式				桩机型号				里程桩号				机号			
施工日期	施工序号	桩位	第一节		第二节		第三节		送桩	施工时间		终压力值(kN)	终压次数	桩长(m)	地面标高	总入土深度(m)	设计桩顶标高	施工桩顶标高	备注										
			桩长(m)	压力值	桩长(m)	压力值	桩长(m)	压力值		压力值	开始时间									结束时间									
	1																												
	2																												
	3																												
	4																												
	5																												
	6																												
	7																												
	8																												
桩身受损										焊缝质量																			
暂停沉桩特殊情况记录																													
自检意见														质检工程师				日期											
监理意见														监理工程师				日期											

注：本表一式三份，施工班组、施工单位、总监办各保存一份。

附录 F 锤击沉桩施工记录表

表 F 锤击沉桩施工记录表

编号：

工程名称												施工单位												监理单位															
制桩单位												桩规格						接头形式						桩锤型号						里程桩号						机号			
施工日期	施工序号	桩位	第一节		第二节		第三节		送桩		施工时间		总锤击数	最后1m锤击数	最后三阵贯入度			最后三阵落距(m)	桩长(m)	地面标高	总入土深度(m)	设计桩顶标高	施工桩顶标高	备注															
			桩长(m)	锤击数	桩长(m)	锤击数	桩长(m)	锤击数	锤击数	开始时间	结束时间	mm/10击																											
												3			2	1																							
	1																																						
	2																																						
	3																																						
	4																																						
	5																																						
	6																																						
	7																																						
	8																																						
桩顶破坏												焊缝质量																											
暂停沉桩特殊情况记录																																							
自检意见												质检工程师												日期															
监理意见												监理工程师												日期															

注：本表一式三份，施工班组、施工单位、总监办各保存一份。

附录 G 静压桩机及适用范围参数表

G.0.1 静压桩机技术参数应按表 G.0.1 取值。

表 G.0.1 静压桩机技术参数表

压桩机型号 (吨位)		160~ 180	240~ 280	300~ 360	400~ 460	500~ 600	800~ 1000	1200~ 1400
项目								
最大压桩力 (kN)		1600~ 1800	2400~ 2800	3000~ 3600	4000~ 4600	5000~ 6000	8000~ 10000	12000~ 14000
行程 (m)	纵向 (一次)	3	3	3	3	3	3	3
	横向 (一次)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55	0.55
最大回转角 (°)		18	18	18	18	18	20	20

注：压桩机的接地压强、行走速度、压桩行程、工作吊机性能、主机外型尺寸及拖运尺寸等具体参数各厂不同，可参阅各厂的压桩机说明书。

G.0.2 静压桩机适用范围参数应按表 G.0.2 取值。

表 G.0.2 静压桩机适用范围参数表

压桩机型号 (吨位)		160~ 180	240~ 280	300~ 360	400~ 460	500~ 600	800~ 1000	1200~ 1400
项目								
适用 管桩	最小桩径 (mm)	300	300	400	400	500	500	600
	最大桩径 (mm)	400	500	500	550	600	800	800
单桩承载力极限值 (kN)		1000~ 2000	1600~ 3000	2000~ 3800	3000~ 5000	3600~ 5600	5600~ 7200	8000~ 9600
桩端持力层		中密~ 密实砂 层、硬 塑~坚 硬黏土 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层	密实砂 层、坚 硬黏土 层、全 风化岩 层、强 风化岩 层

桩端持力层标贯值 N	20~25	20~35	30~40	30~50	30~55	35~60	30~65
穿透中密~密实砂层厚度 (m)	约 1.5	1.5~2.5	2~3	2~4	3~5	4~6	4~6

注：1、压桩机应根据工程地质条件、估算的最大压桩阻力、单桩极限承载力、入土深度及桩身强度并结合地区经验等因素综合考虑后选用；

2、最大压桩力为理论最大压桩力，压桩时压桩机提供的最大压桩力约为其机架重量和配重之和的 0.8 倍；

3、本表中静压桩机施工边、角桩及正常桩时，与邻近建（构）筑物施工的最小距离宜为 2m~5m。

征求意见稿

附录 H 选锤参考资料

H.0.1 管桩入土深度小于 60m 时可参照表 H.0.1 选择液压锤。

表 H.0.1 液压锤选锤参考资料

项目	常用锤型		液压锤			
			SC150	HHK16S	S-280	BSP HH30
锤型资料	锤芯重（t）		11.0	16	13.5	30
	锤总重（t）		19.5	26	30.5	55
	常用冲程（m）		可调	—	—	0.2~1.2
	最大锤击能量（kN·m）		150	240	280	354
适用管桩规格			φ800~ φ1200	φ800~ φ1400	—	—
锤击沉桩能力	桩身可贯穿硬土层深度（m）	硬黏土	10~15	10~20	10~20	10~20
		中密砂土	10~15	10~15	10~15	10~20
	桩端可打入硬土层深度（m）	密实砂土或砾砂	1.0~2.0	1.5~2.5	≥ 4	—
		风化岩（N=50 击）	无资料	无资料	无资料	无资料
	所用锤能达到的极限承载力（kN）		>9000	9000~17000	>13000	>13000
	最终 10 击的平均贯入度（mm/击）		5~10	5~10	5~10	5~10

说明：1、本表仅供施工单位选锤时参考，不得作为确定桩的极限承载力和控制贯入度的依据；
2、硬黏土是指老黏性土和强风化残积层， $N = 20 \sim 40$ (N 为未修正数值)；
3、其他锤型可根据最大锤击能量，参照有关档次选用；
4、桩打入硬土层的深度不包含桩尖部分的长度。

H.0.2 管桩入土深度小于 60m 时可参照表 H.0.2 选择柴油锤。

表 H.0.2 柴油锤选锤参考资料

项目	常用锤型		柴油锤				
			D—62	D—80	D—100	D—125	D—160
锤型资料	锤芯重（t）		6.2	8.0	10.0	12.5	16.0
	锤总重（t）		13.7	16.04	19.43	23.5	31.2
	常用冲程（m）		可调	2.8~3.2	2.8~3.2	可调	可调
	最大锤击能量（kN·m）		210	272	340	417	533
适用管桩规格			$\phi 800 \sim \phi 1200$	$\phi 800 \sim \phi 1200$	$\phi 800 \sim \phi 1400$	$\phi 1200 \sim \phi 1400$	—
锤击沉桩能力	桩身可贯穿硬土层深度（m）	硬黏土	7~10	10~15	10~20	10~20	10~20
		中密砂土	7~10	8~15	10~15	10~15	10~15
	桩端可打入硬土层深度（m）	密实砂土或砾砂	0.5~1	0.5~1.5	0.5~1.5	1.5~2.5	0.5~1.5
		风化岩（N=50 击）	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5	无资料	无资料
	所用锤能达到的极限承载力（kN）		5000~7000	6000~10000	9000~17000	11000~21000	>15000
	最终 10 击的平均贯入度（mm/击）		5~10	5~10	5~10	5~10	5~10

说明：1、本表仅供施工单位选锤时参考，不得作为确定桩的极限承载力和控制贯入度的依据；

2、硬黏土是指老黏性土和强风化残积层， $N = 20 \sim 40$ (N 为未修正数值)；

3、其他锤型可根据最大锤击能量，参照有关档次选用；

4、桩打入硬土层的深度不包含桩尖部分的长度。

附录 I 管桩桩尖规格及构造图

I.0.1 平底十字型桩尖构造（图 I.0.1）及尺寸（表 I.0.1）。

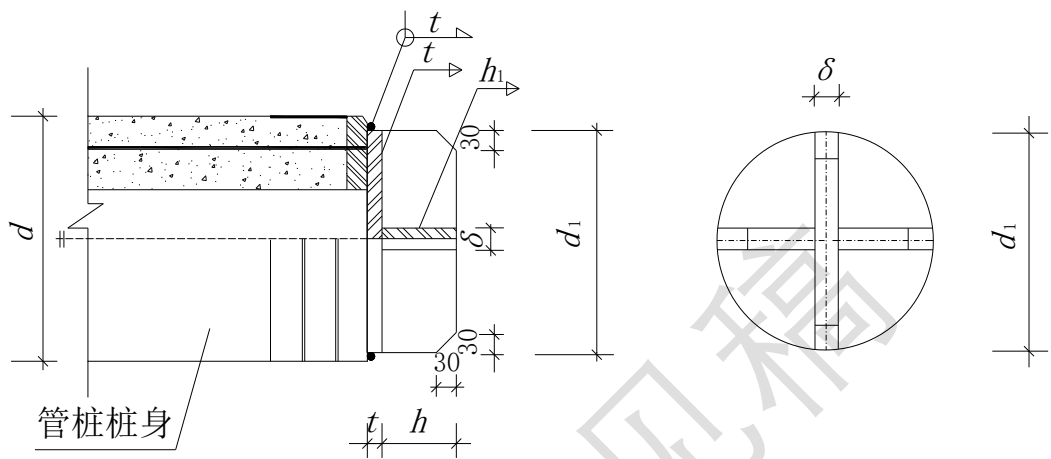


图 I.0.1 平底十字型桩尖

表 I.0.1 平底十字型桩尖构造尺寸（mm）

d	d_1	h	δ	t	h_1
600	540	125~175	≥ 18	≥ 14	≥ 14
800	730	175~275	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	275~375	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	275~375	≥ 24	≥ 22	≥ 20
1400	1300	375~475	≥ 26	≥ 24	≥ 22

I.0.2 尖底十字 I（II）型桩尖构造（图 I.0.2）及尺寸（表 I.0.2）。

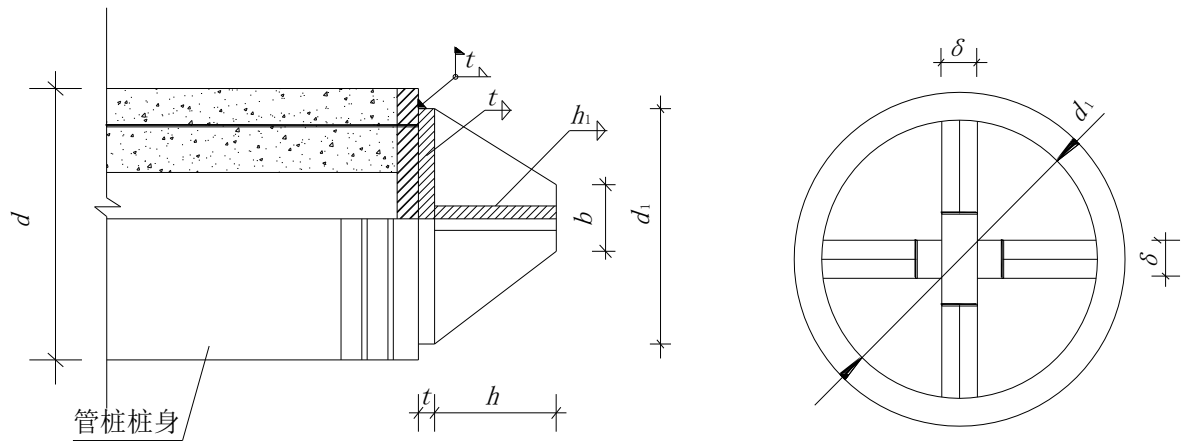


图 I.0.2 尖底十字型桩尖

表 I.0.2 尖底十字型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	b	δ	t	h_1
600	540	225~475	60	≥ 18	≥ 14	≥ 14
800	730	325~575	80	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	425~675	100	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	475~775	120	≥ 24	≥ 22	≥ 20
1400	1300	525~875	140	≥ 26	≥ 24	≥ 22

I.0.3 锯齿十字型桩尖构造 (图 I.0.3) 及尺寸 (表 I.0.3)。

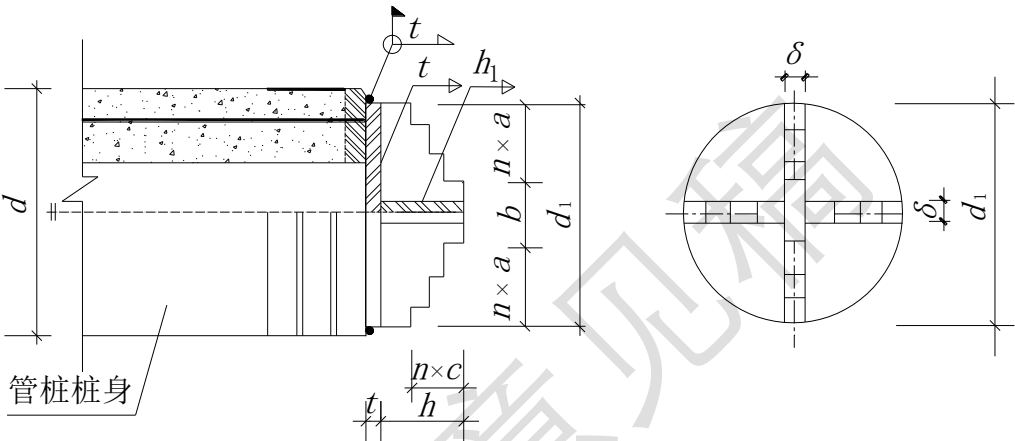


图 I.0.3 锯齿十字型桩尖

表 I.0.3 锯齿十字型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	n	a	b	c	δ	t	h_1
600	540	200~350	3	65	60	55	≥ 1	≥ 14	≥ 14
800	730	325~475	4	75	80	70	≥ 2	≥ 16	≥ 20
1000	920	350~500	5	85	100	90	≥ 2	≥ 20	≥ 16
1200	1110	375~525	6	95	120	100	≥ 2	≥ 22	≥ 20
1400	1300	425~575	6	105	140	110	≥ 2	≥ 24	≥ 22

I.0.4 四棱锥型桩尖构造 (图 I.0.4) 及尺寸 (表 I.0.4)。

表 I.0.4 四棱锥型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	d_2	h	a	b	δ	t	h_1
600	540	200	270~450	382	382	≥ 18	≥ 14	≥ 14
800	730	250	375~575	516	516	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	300	475~675	650	650	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	350	575~775	750	750	≥ 24	≥ 22	≥ 20
1400	1300	400	675~875	850	850	≥ 26	≥ 24	≥ 22

注：必要时桩尖内可灌 C30 混凝土填实。

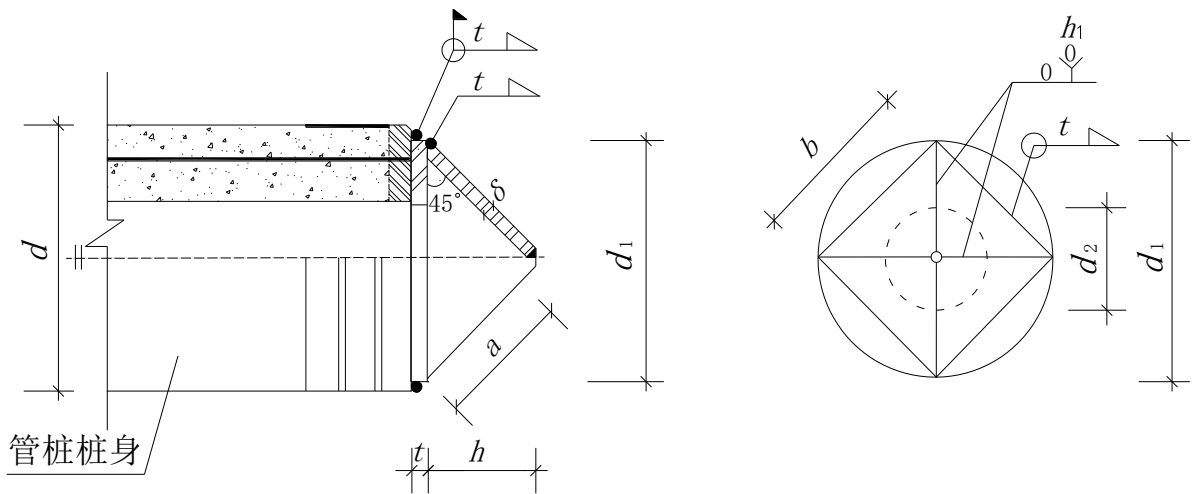


图 I.0.4 四棱锥型桩尖

I.0.5 六棱锥型桩尖构造（图 I.0.5）及尺寸（表 I.0.5）。

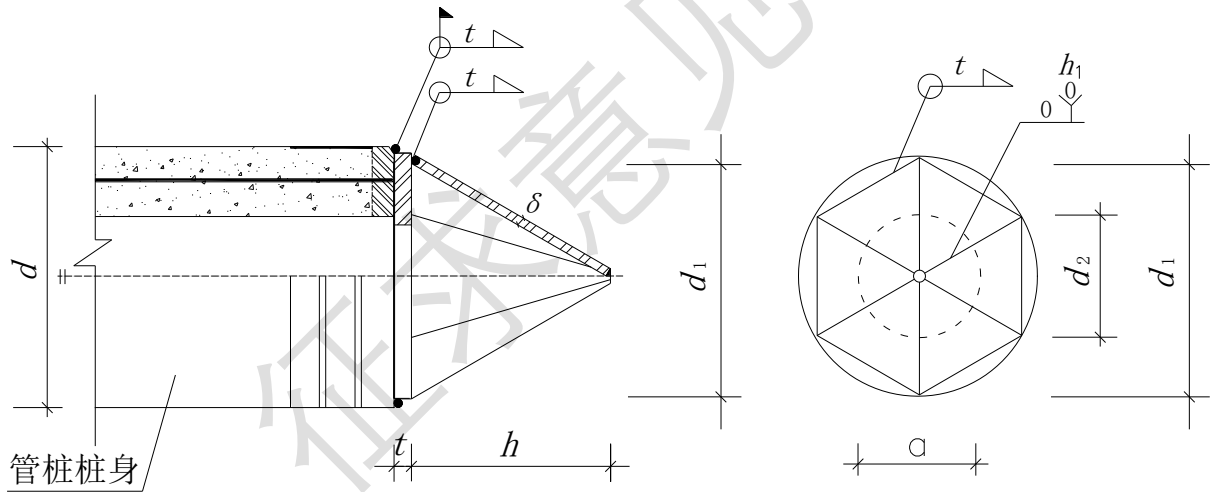


图 I.0.5 六棱锥型桩尖

表 I.0.5 六棱锥型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	d_2	h	a	δ	t	h_1
600	540	200	270~450	260	≥ 18	≥ 14	≥ 14
800	730	300	375~575	370	≥ 20	≥ 16	≥ 20
1000	920	350	475~675	440	≥ 22	≥ 20	≥ 16
1200	1110	400	575~775	540	≥ 24	≥ 22	≥ 20
1400	1300	450	675~875	650	≥ 26	≥ 24	≥ 22

注：必要时桩尖内可灌 C30 混凝土填实。

I.0.6 H 钢 1 型桩尖构造（图 I.0.6）及尺寸（表 I.0.6）。

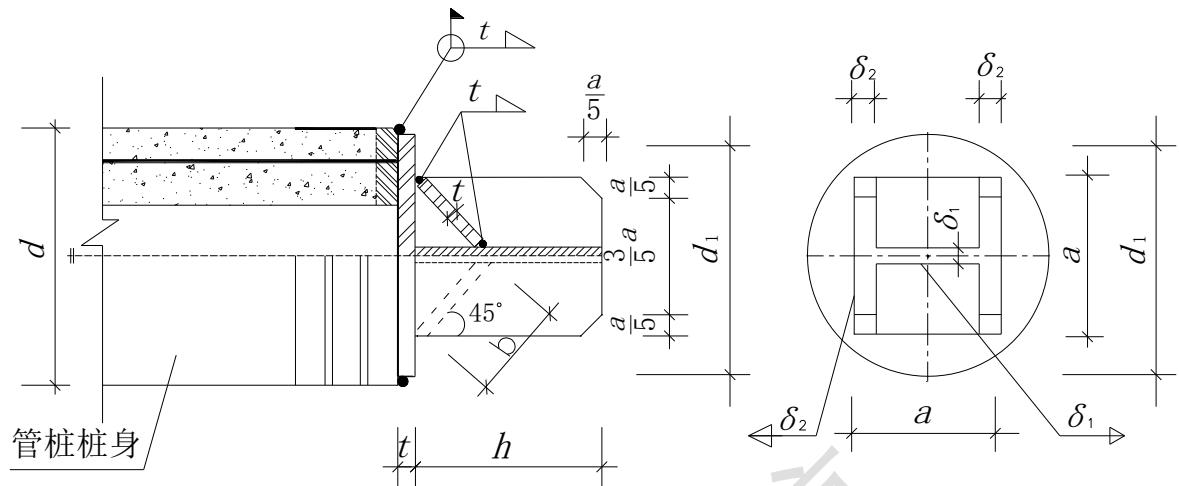


图 I.0.6 H 钢 1 型桩尖

表 J.0.6 H 钢 1 型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	a	b	HW 型钢	δ_1	δ_2	t
600	540	270~450	350	232	350×350	≥ 12	≥ 19	≥ 14
800	730	375~575	450	320	450×450	≥ 16	≥ 27	≥ 16
1000	920	475~675	500	400	500×500	≥ 16	≥ 31	≥ 20
1200	1110	575~775	600	480	600×600	≥ 18	≥ 35	≥ 22
1400	1300	675~875	700	550	700×700	≥ 20	≥ 39	≥ 24

I.0.7 H 钢 2 型桩尖构造（图 I.0.7）及尺寸（表 I.0.7）。

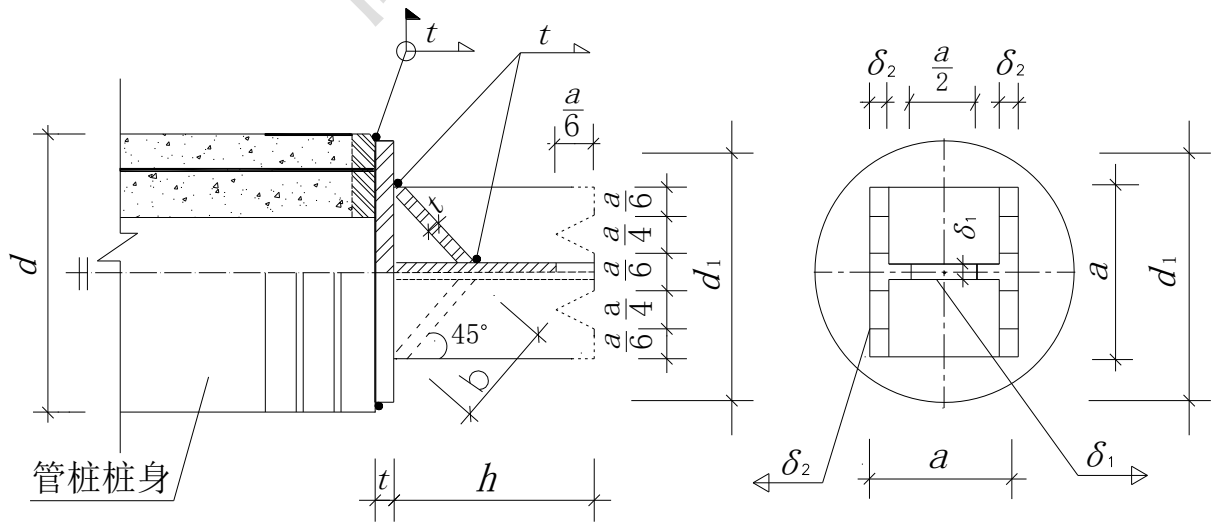
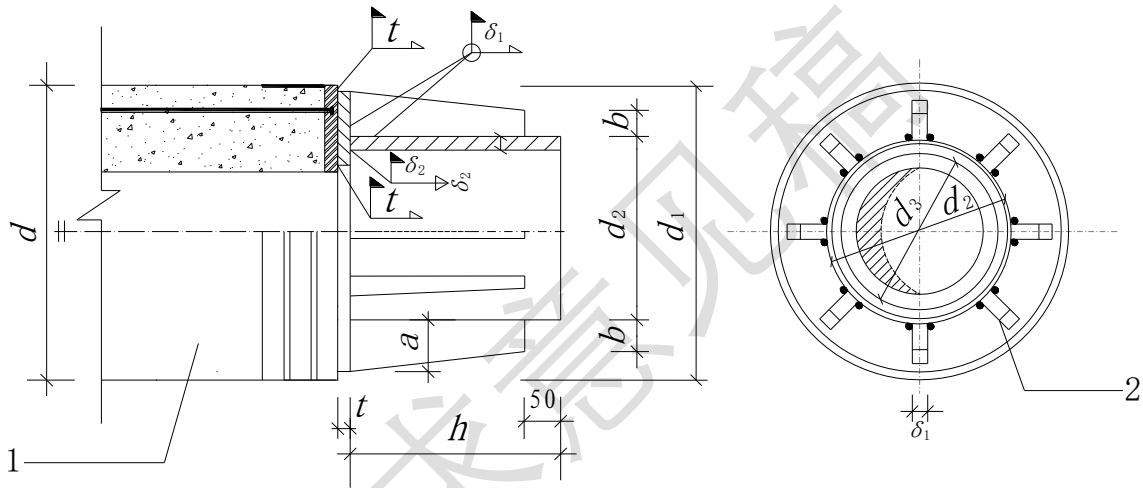


图 I.0.7 H 钢 2 型桩尖

表 I.0.7 H 钢 2 型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	h	a	b	HW 型钢	δ_1	δ_2	t
600	540	270~450	350	232	350×350	≥ 19	≥ 19	≥ 14
800	730	375~575	450	320	450×450	≥ 16	≥ 27	≥ 16
1000	920	475~675	500	400	500×500	≥ 16	≥ 31	≥ 20
1200	1110	575~775	600	480	600×600	≥ 18	≥ 35	≥ 22
1400	1300	675~875	700	550	700×700	≥ 20	≥ 39	≥ 24

I.0.8 开口型桩尖构造 (图 I.0.8) 及尺寸 (表 I.0.8)。



1—管桩桩身；2—加劲肋 n 条
图 I.0.8 开口型桩尖

表 I.0.8 开口型桩尖构造尺寸 (mm)

d	d_1	d_2	d_3	h	a	b	δ_1	δ_2	t	n
600	540	480	400	225~475	30	20	12~18	12	≥ 14	8
800	730	660	600	325~575	35	25	14~20	14	≥ 16	10
1000	920	850	780	425~675	45	30	16~22	16	≥ 20	12
1200	1110	1030	950	475~775	50	35	16~24	18	≥ 22	12
1400	1300	1200	1050	525~875	55	40	18~26	20	≥ 24	14

附录 J 管桩混凝土有效预压应力值计算方法

管桩混凝土有效预压应力与混凝土的弹性变形、混凝土的徐变、混凝土的收缩和预应力钢筋的松弛等有关；由于管桩先张法及离心工艺与常规的预应力混凝土构件不同，采用《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 附录 D 给出的计算方法。同时，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，本规程根据相关规范给予明确。

J.0.1 预应力放张后预应力钢筋的拉应力 σ_{pt} (N/mm²)

$$\sigma_{pt} = \frac{\sigma_{con}}{1 + n' \frac{A_p}{A_c}}$$

$$\sigma_{con} = 0.7 f_{pk}$$

式中： σ_{con} ——预应力钢筋的初始张拉应力 (N/mm²)；

f_{pk} ——预应力钢筋的抗拉强度标准值 (N/mm²)；

A_p ——预应力钢筋的横截面积 (mm²)；

A_c ——管桩混凝土的横截面积 (mm²)；

n' ——预应力钢筋的弹性模量与放张时（通常为 C45）混凝土的弹性模量之比。

J.0.2 混凝土的徐变及混凝土的收缩引起的预应力钢筋拉应力损失 $\Delta\sigma_{p\psi}$ (N/mm²)

$$\Delta\sigma_{p\psi} = \frac{n \cdot \psi \cdot \sigma_{cpt} + E_p \cdot \delta_s}{1 + n \cdot \frac{\sigma_{cpt}}{\sigma_{pt}} \cdot \left(1 + \frac{\psi}{2}\right)}$$

$$\sigma_{cpt} = \frac{\sigma_{pt} \cdot A_p}{A_c}$$

式中： σ_{cpt} ——放张后混凝土的预压应力 (N/mm²)；

n ——预应力钢筋的弹性模量与管桩混凝土的弹性模量之比；

ψ ——混凝土的徐变系数，取 2.0；

δ_s ——混凝土的收缩率，取 1.5×10^{-4} ；

E_p ——预应力钢筋的弹性模量 (N/mm²)。

J.0.3 预应力钢筋因松弛引起的拉应力的损失 $\Delta\sigma_r$ (N/mm²)

$$\Delta\sigma_r = r_0 \cdot (\sigma_{pt} - 2\Delta\sigma_{p\psi})$$

式中： r_0 ——预应力钢筋的松弛系数，取 2.5%。

J.0.4 预应力钢筋的有效拉应力 σ_{pe} (N/mm²)

$$\sigma_{pe} = \sigma_{pt} - \Delta\sigma_{p\psi} - \Delta\sigma_r$$

J.0.5 管桩混凝土的有效预压应力 σ_{ce} (N/mm²)

$$\sigma_{ce} = \frac{\sigma_{pe} \cdot A_p}{A_c}$$

J.0.6 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 σ_{p0} (N/mm²)

$$\sigma_{p0} = \sigma_{con} - \Delta\sigma_{p\psi} - \Delta\sigma_r$$

征求意见稿

附录 K 管桩基础工程质量检验评定表

K.0.1 管桩沉桩可参考表 K. 0. 1 制定工程质量检验评定表。

表 K. 0. 1 管桩沉桩工程质量检验评定表

施工单位：

合同号：

监理单位：

编 号：

桩号或部位			子项工程名称			所属分项工程	
基本要求						执行标准及编号	
实 测 项 目	项次	检查项目		规定值或允许偏差	实测值或实测偏差值	质量评定	
						平均值、代表值	合格率（%）
	1△	桩尖高程（mm）		≤ 设计值			合格判定
	2	桩身垂直度	直 桩	≤ 1%			
			斜 桩	≤ 15tanθ			
	3	桩位（mm）	周边桩	≤ 100			
			中间桩	≤ 150			
	4△	锤击收锤标准	总锤击数	满足收锤标准			
			最后 1m 锤击数	满足收锤标准			
			贯入度（mm）	满足收锤标准			
5△	静压终压标准		满足终压标准				
桩身结构完整性、接头等					质量保证资料		
工程质量等级评定							

检验负责人：

检测：

记录：

复核：

日期：

K.0.2 预制管桩可参考表 K. 0. 2 制定工程质量检验评定表。

表 K. 0. 2 预制管桩工程质量检验评定表

施工单位:

合同号:

监理单位:

编 号:

桩号或部位					子项工程名称			所属分项工程		
基本要求							执行标准及编号			
实 测 项 目	项次	检查项目		规定值或允许偏差	实测值或实测偏差值		质量评定			
							平均值、代表值	合格率（%）	合格判定	
	1△	混凝土强度（MPa）		不得低于 C80						
	2	桩 长 l （mm）		±50						
	3	桩径 D （mm）	600mm	+5， -2						
			800～1400mm	+7， -4						
	4	壁 厚（mm）		+20， 0						
	5	端 部 倾 斜		≤ 0.5%D						
	6	桩身弯 曲度	$l \leq 15\text{m}$	≤ $l/1000$						
			$15\text{m} < l \leq 30\text{m}$	≤ $l/2000$						
	7	桩端部 （mm）	外侧平面度	≤ 0.5						
			内 径	0， -1						
			外 径	0， -2						
			厚 度	正偏差无限， 0						
外观质量							质量保证资料			
工程质量等级评定										

检验负责人:

检测:

记录:

复核:

日期: