

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ 171 - 2009
备案号 J864 - 2009

三岔双向挤扩灌注桩设计规程

Design specification for cast-in-place piles
with expanded branches and bells by
3-way extruding arms

2009 - 04 - 07 发布

2009 - 10 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 273 号

关于发布行业标准《三岔双向 挤扩灌注桩设计规程》的公告

现批准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》为行业标准，编号为 JGJ 171 - 2009，自 2009 年 10 月 1 日起实施。其中，第 3.0.3、4.0.2 条为强制性条文，必须严格执行。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部
2009 年 4 月 7 日

前 言

根据原建设部《关于印发〈2006年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2006〕77号）的要求，本规程由北京中阔地基基础技术有限公司会同有关单位经认真总结三岔双向挤扩灌注桩的科研成果、工程实践经验，在广泛征求意见的基础上编制而成。

本规程的主要内容是：总则、术语和符号、基本规定、构造、设计、质量检查与检测要点以及相关附录。其中包括三岔双向挤扩灌注桩的设计原则、竖向承载力和水平承载力的计算、沉降计算等内容。

本规程中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规程由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由北京中阔地基基础技术有限公司负责具体技术内容的解释（地址：北京市海淀区蓝靛厂东路2号院金源时代商务中心2号楼C座9D；邮政编码：100097）。

本规程主编单位：北京中阔地基基础技术有限公司

本规程参编单位：北京市建筑工程研究院

中国建筑科学研究院

清华大学土木水利学院

同济大学土木工程学院

天津中阔建筑工程有限公司

济南同圆建筑设计研究院有限公司

天津市勘察院

山东中阔基础工程有限公司

机械工业第三勘察设计院

本规程参加单位：河北省建设勘察研究院有限公司

江苏省建筑科学研究院有限公司

陕西地质工程总公司

本规程主要起草人：沈保汉 贺德新 李广信 钱力航

宰金璋 吴永红 韩克胜 王思增

刘振亮 孙君平 郭桂霞 袁海涛

田忠生 贺建东 陈宗年 鲍生谋

王 衍

本规程主要审查人员：王梦恕 陈祥福 崔玖江 彭念祖

包琦玮 柳建国 王 园 王利华

孙世国 唐建华 曾昭礼 武建伟

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	6
4 构造	8
5 设计	9
5.1 单桩竖向抗压承载力确定	9
5.2 桩基竖向抗拔承载力验算	10
5.3 单桩水平承载力计算	12
5.4 桩身强度验算	13
5.5 桩基沉降计算	13
6 质量检查与检测要点	15
6.1 质量检查要点	15
6.2 检测要点	16
附录 A 三岔双向挤扩灌注桩的构造	17
附录 B 三岔双缸双向液压挤扩装置	18
附录 C 三岔双缸双向液压挤扩装置主要技术参数	19
附录 D 承力盘腔直径检测器	20
附录 E 三岔双向挤扩灌注桩主要参数	22
附录 F 单桩竖向抗压静载试验	25
附录 G 三岔双向挤扩灌注桩的极限侧阻力标准值、极限 盘端阻力标准值和极限桩端阻力标准值	28
附录 H 三岔双向挤扩灌注桩成孔记录表	31
附录 J 三岔双向挤扩灌注桩挤扩记录表	32

本规程用词说明	34
引用标准名录	35
附：条文说明	37

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
4	Structure	8
5	Design	9
5.1	Determination of Vertical Bearing Capacity of Single Pile	9
5.2	Calculation of Pull-out Capacity of Single Pile	10
5.3	Calculation of Horizontal Bearing Capacity of Single Pile	12
5.4	Checking Computation of Concrete Strength of Pile Shaft	13
5.5	Calculation of Pile Foundation Settlement	13
6	Essentials of Quality Inspection and Checking	15
6.1	Essentials of Quality Inspection	15
6.2	Essentials of Checking	16
Appendix A	Structure of Cast-in-place Pile with Expanded Branches and Bells by 3-way Extruding Arms	17
Appendix B	Hydraulic Extruding-expanding Device with 3-way and Double-cylinder	18
Appendix C	Main Technical Parameters of Hydraulic Extruding-expanding Device with 3-way and Double-cylinder	19
Appendix D	Check Meter of Diameter of Bell Cavity	20
Appendix E	Main Technical Parameters of Cast-in-place	

	Pile with Expanded Branches and Bells by 3-way Extruding Arms	22
Appendix F	Static Loading Test of Vertical Bearing Capacity of Single Pile	25
Appendix G	Characteristic Value of Ultimate Skin Resist- ance, Characteristic Value of Ultimate Tip Resistance of Bell, Characteristic Value of Ultimate Tip Resistance of Point of Cast-in- place Pile with Expanded Branches and Bells by 3-way Extruding Arms	28
Appendix H	Drilling Record Form of Cast-in-place Pile with Expanded Branches and Bells by 3-way Extruding Arms	31
Appendix J	Extruding-expanding Record Form of Cast- in-place Pile with Expanded Branches and Bells by 3-way Extruding Arms	32
	Explanation of Wording in this Specification	34
	Normative Standards	35
	Explanation of Provisions	37

1 总 则

1.0.1 为了使三岔双向挤扩灌注桩基础设计做到安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工业与民用建（构）筑物三岔双向挤扩灌注桩基础的设计、检查与检测。

1.0.3 三岔双向挤扩灌注桩的设计，应综合考虑地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工技术条件与环境等因素，因地制宜地选择相应的成孔与挤扩工艺和技术参数并合理地确定承力盘（岔）的位置。

1.0.4 三岔双向挤扩灌注桩的设计、检查与检测除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 三岔双向挤扩灌注桩 cast-in-place piles with expanded branches and bells by 3-way extruding arms

三岔双向挤扩灌注桩是在预钻（冲）孔内，放入专用的三岔双缸双向液压挤扩装置，按承载力要求和地层土质条件在桩身适当部位，通过挤扩装置双向油缸的内外活塞杆作大小相等方向相反的竖向位移带动三对等长挤扩臂对土体进行水平向挤压，挤扩出互成 120° 夹角的 3 岔状或 $3n$ 岔（ n 为同一水平面上的转位挤扩次数）状的上下对称的扩大形腔或经多次挤扩形成近似双圆锥盘状的上下对称的扩大腔，成腔后提出三岔双缸双向液压挤扩装置，放入钢筋笼，灌注混凝土，制成由桩身、承力岔、承力盘和桩根共同承载的钢筋混凝土灌注桩。

2.1.2 承力岔 branch bearing

用三岔双缸双向液压挤扩装置在桩孔外侧沿径向对称挤扩，形成一定宽度的上下对称的楔形腔，此后岔腔与桩孔同时灌注混凝土所形成的楔形体，称为承力岔。承力岔按同一水平面上的转位挤扩次数可分为 3 岔型（一次挤扩）和 $3n$ 岔型（ n 次挤扩）。承力岔可简称“岔”。

2.1.3 承力盘 bell bearing

在桩孔同一标高处，用三岔双缸双向液压挤扩装置在桩孔外侧沿径向水平挤扩，经过 7 次以上的转位挤扩，在桩孔周围土体中形成一近似双圆锥盘状的上下对称的扩大腔，此后盘腔与桩孔同时灌注混凝土形成的盘体，称为承力盘。承力盘可简称“盘”。

2.1.4 扩径体 expanded body

承力岔和承力盘的统称。

2.1.5 桩身 pile shaft

桩的等直径部分。

2.1.6 桩根 root of pile

底承力盘以下的桩身部分。

2.1.7 三岔双缸双向液压挤扩装置 hydraulic extruding-expanding devices with 3-way and double-cylinder

在桩周土体中挤扩形成承力岔和承力盘腔体的三岔双缸双向液压挤扩专用设备。

2.1.8 挤扩压力 extrusion-expansion pressure

三岔双缸双向液压挤扩装置对土体进行挤扩时，液压站压力表上显示的壓力值。

2.1.9 首次挤扩压力值 pressure value of extrusion first time

对土体进行第一次挤扩时，压力表上显示的最大压力值；简称首扩压力值。

2.1.10 承力盘腔直径检测器 check meter of diameter of bell cavity

用于测定三岔双向挤扩灌注桩承力盘腔直径的机械式专用检测装置，简称盘径检测器。

2.1.11 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

N ——相应于荷载效应基本组合时的桩顶竖向压力设计值；

N_k ——按荷载效应标准组合计算的单桩拉拔力。

2.2.2 抗力和材料性能

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

G_{gp} ——群桩基础及其所包围的桩间土总自重标准值除以总桩数；

G_p ——基桩桩体及承力盘以上部分土体的自重标准值；

- P ——挤扩压力；
 Q_{Bk} ——单桩总极限盘端阻力标准值；
 Q_{bk} ——单桩总极限岔端阻力标准值；
 Q_{pk} ——单桩总极限桩端阻力标准值；
 Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力标准值；
 Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值；
 q_{Bik} ——单桩第 i 个盘的持力土层极限盘端阻力标准值；
 q_{bik} ——单桩第 i 个岔的持力土层极限岔端阻力标准值；
 q_{pk} ——单桩极限桩（盘、岔）端阻力标准值；
 q_{sik} ——单桩第 i 层土的极限侧阻力标准值；
 R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；
 R_{Ta} ——单桩竖向抗拔承载力特征值；
 T_{gk} ——群桩基础呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值；
 T_{uk} ——群桩基础呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值。

2.2.3 几何参数

- A ——桩身设计截面面积；
 A_p ——桩端设计截面面积；
 A_{pD} ——在水平投影面上的承力盘（扣除桩身设计截面面积）设计截面面积；
 A_{pD} ——在水平投影面上的承力岔（扣除桩身设计截面面积）设计截面面积；
 a ——承力盘（岔）宽度；
 b ——挤扩臂宽度、承力岔厚度；
 c ——承力盘（岔）外沿高度；
 D ——承力盘设计直径、承力岔外接圆设计直径；
 D_g ——承力盘公称直径、承力岔外接圆公称直径；
 D_s ——挤扩承力盘腔实际直径，简称挤扩盘（岔）径；
 d ——桩身设计直径；

- h ——承力盘(岔)高度;
- h_b ——桩端进入持力层的深度;
- l ——桩身长度;
- l_D ——承力盘、承力岔的竖向中心间距;
- l_t ——桩根长度;
- n ——同一水平面上的转位挤扩次数或桩基中的桩数;
- s_a ——桩的中心距;
- u ——桩身或桩根周长;
- V_{Bg} ——承力盘公称体积;
- V_{bg} ——承力岔公称体积。

2.2.4 计算系数

- α ——桩的水平变形系数;
- α_t ——荷载性质系数;
- ξ_i ——等效抗拔长度系数;
- λ_i ——抗拔侧阻力折减系数;
- η ——总盘端阻力调整系数;
- ψ_c ——工作条件系数;
- ψ_D ——三岔双向挤扩灌注桩基沉降修正系数。

3 基本规定

3.0.1 对无相近地质条件下成桩试验资料的三岔双向挤扩灌注桩（附录 A）设计，应预先进行成孔、成盘（岔）腔、成桩试验和载荷试验，确定设计及施工参数。

3.0.2 桩基的详细勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定外，当相邻勘探点所揭露的可作承力盘（岔）持力土层的层面坡度大于 10% 时，宜加密勘探点，查明该持力土层的分布情况。

3.0.3 淤泥及淤泥质土层、松散状态的砂土层、可液化土层、湿陷性黄土层、大气影响深度以内的膨胀土层、遇水丧失承载力的强风化岩层不得作为抗压三岔双向挤扩灌注桩的承力盘和承力岔的持力土层。

3.0.4 可塑-硬塑状态的黏性土、稍密-密实状态的粉土和砂土、中密-密实状态的卵砾石层和残积土层、全风化岩、强风化岩层宜作为抗压三岔双向挤扩灌注桩的承力盘和承力岔的持力土层。

3.0.5 承力盘的持力土层厚度不宜小于 $3d$ （ d 为桩身设计直径）；当有软弱下卧层时，承力盘的持力土层厚度不宜小于 $4d$ 。承力岔的持力土层厚度不宜小于 $2d$ ；当有软弱下卧层时，承力岔的持力土层厚度不宜小于 $3d$ 。

3.0.6 承力盘底进入持力土层的深度不宜小于 $0.5 \sim 1.0h$ （ h 为承力盘和承力岔的高度），承力岔底进入持力土层的深度不宜小于 $1.0h$ 。

3.0.7 宜选择较硬土层作为桩端持力土层。桩端全断面进入持力土层的深度，对于黏性土、粉土时不宜小于 $2.0d$ ；砂土不宜小于 $1.5d$ ；碎石类土不宜小于 $1.0d$ 。当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度不宜小于 $3d$ 。

3.0.8 相邻桩的最小中心距不宜小于 $3.0d$ ，并不宜小于 $1.5D$ （ D 为承力盘设计直径）。当 D 大于 2m 时，桩的最小中心距不宜小于 $D+1$ （ m ）。

3.0.9 承力盘的竖向中心间距：当持力土层为砂土时，不宜小于 $2.5D$ ；当持力土层为黏性土、粉土时不宜小于 $2.0D$ 。

承力岔的竖向中心间距不宜小于 $1.5D$ 。承力岔与承力盘的竖向中心间距：当持力土层为粉细砂时，不宜小于 $2.0D$ ；当持力土层为黏性土、粉土时不宜小于 $1.5D$ 。

3.0.10 桩根长度不宜小于 $2.0d$ 。

3.0.11 抗拔三岔双向挤扩灌注桩的承力盘（岔）宜设置在持力土层的下部。

3.0.12 三岔双向挤扩灌注桩施工应采用三岔双缸双向液压挤扩装置（附录 B），主要技术参数可按本规程附录 C 的规定确定，并应符合下列要求：

1 桩身直径可选用 $450\sim 1500\text{mm}$ ，承力盘（岔）直径应根据桩身直径、承载力要求和三岔双缸双向挤扩装置的类别及型号确定；

2 三岔双缸双向挤扩装置主要技术参数应符合本规程附录 C 的规定；

3 承力盘腔直径检测器应符合本规程附录 D 的规定；

4 三岔双向挤扩灌注桩主要参数应符合本规程附录 E 的规定。

4 构 造

4.0.1 三岔双向挤扩灌注桩的配筋应符合下列规定：

1 截面配筋率可取 $0.40\% \sim 0.65\%$ ，对大直径桩宜取低值；承受水平荷载较大的桩及抗拔桩的配筋率应按计算确定；

2 桩身直径大于 600mm 的桩，主筋长度不宜小于桩长的 $2/3$ ；

3 位于坡地岸边的基桩应通长配筋；

4 对于受地震作用的基桩，桩身配筋长度应穿过可液化土层和软弱土层，进入稳定土层的深度不应小于 $4.0/\alpha$ (α 为桩的水平变形系数)；

5 对于承受水平荷载或较大弯矩的基桩，配筋长度应通过计算确定，且不应小于 $4.0/\alpha$ ，并应穿过软弱土层进入稳定土层；

6 对于仅设置一个底承力盘的基桩宜通长配筋；

7 专用抗拔基桩以及因地震作用、冻胀或膨胀力作用而受拔力的基桩，应等截面或变截面通长配筋；

8 主筋的最小直径与布置及箍筋的形式、直径、间距与配置，以及桩的水平变形系数 (α) 应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

4.0.2 三岔双向挤扩灌注桩桩身混凝土强度等级不得低于 C25。

4.0.3 三岔双向挤扩灌注桩桩身混凝土保护层厚度应符合下列规定：

1 主筋的混凝土保护层厚度，在干作业成孔时不应小于 35mm；在水下灌注混凝土时，不应小于 50mm；

2 四类、五类环境中桩身混凝土保护层厚度应符合国家现行标准《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的相关规定。

5 设 计

5.1 单桩竖向抗压承载力确定

5.1.1 对于设计等级为甲级和地质条件复杂的乙级建筑的桩基，施工前单桩竖向抗压极限承载力标准值应通过单桩静载试验确定。在同一条件下的试桩数量不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根；当工程桩总数在 50 根以内时，不应少于 2 根。单桩的竖向抗压静载试验，应按本规程附录 F 的规定进行。

5.1.2 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按下列式计算：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (5.1.2)$$

式中 K ——安全系数，可取 $K=2$ ；

Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值 (kN)。

5.1.3 初步设计时，当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗压极限承载力标准值 Q_{uk} ，可按下列式估算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{bk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \eta \sum q_{bik} A_{pD} + q_{pk} A_p \quad (5.1.3-1)$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (5.1.3-2)$$

$$A_{pD} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (5.1.3-3)$$

式中 Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值 (kN)；

Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力标准值 (kN)；

Q_{bk} ——单桩总极限盘端阻力标准值 (kN)；

Q_{pk} ——单桩总极限桩端阻力标准值 (kN)；

q_{sik} ——单桩第 i 层土的极限侧阻力标准值 (kPa)，如无当地经验值时，可按本规程表 G.0.1 取值；

q_{Bik} ——单桩第 i 个盘的持力土层极限盘端阻力标准值 (kPa), 如无当地经验值时, 可按本规程表 G. 0. 2 取值;

q_{pk} ——极限端阻力标准值 (kPa), 如无当地经验值时, 可按本规程表 G. 0. 2 取值;

u ——桩身或桩根周长 (m);

l_i ——桩穿过第 i 层土的厚度 (m);

η ——总盘端阻力调整系数, 单个和 2 个承力盘时 $\eta = 1.00$; 3 个及 3 个以上承力盘时 $\eta = 0.93$;

A_{pD} ——承力盘设计截面面积 (m^2), 按承力盘在水平投影面上的面积扣除桩身设计截面面积计算;

A_p ——桩端设计截面面积 (m^2);

D ——承力盘设计直径 (m);

d ——桩身设计直径 (m)。

5.2 桩基竖向抗拔承载力验算

5.2.1 承受拉拔力的三岔双向挤扩灌注桩基, 应按下列公式同时验算群桩基础及其基桩的抗拔承载力, 并应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定验算基桩材料的抗拉承载力。

$$N_k \leq \frac{1}{2} T_{gk} + G_{gp} \quad (5.2.1-1)$$

$$N_k \leq \frac{1}{2} T_{uk} + G_p \quad (5.2.1-2)$$

式中 N_k ——按荷载效应标准组合计算的基桩拉拔力 (kN);
 T_{gk} ——群桩基础呈整体破坏时, 基桩的抗拔极限承载力标准值 (kN), 应按本规程第 5.2.2 条确定;
 T_{uk} ——群桩基础呈非整体破坏时, 基桩抗拔极限承载力标准值 (kN), 应按本规程第 5.2.2 条确定;
 G_{gp} ——群桩基础及其所包围的桩间土总自重标准值除以

总桩数，地下水位以下的部分应扣除浮力，应按本规程表 5.2.2-1 和 5.2.2-2 计算三岔双向挤扩灌注群桩和土体的尺寸及桩土的自重标准值；

G_p ——基桩桩体及承力盘以上部分土体的自重标准值，计算地下水位以下部分的基桩自重时，应扣除浮力；三岔双向挤扩灌注桩及承力盘以上部分土体的直径和长度，应按本规程表 5.2.2-1 和 5.2.2-2 确定。

5.2.2 单桩竖向抗拔极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

1 对于设计等级为甲级和乙级的桩基，基桩的抗拔极限承载力标准值应通过单桩竖向抗拔静载试验确定。在同一条件下的试桩数量不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。单桩竖向抗拔静载试验，应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定进行。单位工程同一条件下的单桩竖向抗拔承载力特征值可按单桩抗拔极限承载力标准值的一半取值。

2 初步设计时，基桩竖向抗拔承载力特征值 (R_{Ta}) 可按下式计算：

$$R_{Ta} = \frac{1}{2} T_{uk} \quad (5.2.2-1)$$

1) 当群桩基础呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值可按下式估算：

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (5.2.2-2)$$

式中 T_{uk} ——基桩抗拔极限承载力标准值 (kN)；

q_{sik} ——单桩第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值 (kPa)，如无当地经验时，可按本规程表 G.0.1 取值；

u_i ——桩身周长 (m)，可按表 5.2.2-1 和表 5.2.2-2 取值；

l_i ——桩的破坏表面穿过的第 i 层土的厚度 (m)；

λ_i ——抗拔侧阻力折减系数，可按表 5.2.2-3 取值。

表 5.2.2-1 承力盘和桩身破坏表面周长 (u_i)

自承力盘中心起算的长度 l_i	$\leq \xi_i D$	$> \xi_i D$
u_i	πD	πd

注：表中 ξ_i 为等效抗拔长度系数，按表 5.2.2-2 取值。

表 5.2.2-2 等效抗拔长度系数 (ξ_i)

承力盘以上土的类型	黏性土、粉土	砂 土		角砾、圆砾、碎石、卵石
		松散、稍密	中密、密实	
ξ_i	2~4	4~5	5~8	7~10

注：1 当最上部承力盘距地面的距离，或者某承力盘到上一个承力盘的间距小于表中的 $\xi_i D$ 时，按实际距离计算 l_i ；

2 当承力盘以上的持力土层厚度小于表中 $\xi_i D$ 时，可根据盘以上各层土的性质综合确定系数 ξ_i ；

3 土的强度高时 ξ_i 取大值，土层埋深小时 ξ_i 取小值。

表 5.2.2-3 抗拔侧阻力折减系数 (λ_i)

土类	λ_i	土类	λ_i
砂土	0.50~0.70	黏性土、粉土	0.70~0.80

注：当桩长 l 与桩径之比小于 20 时， λ_i 取小值。

2) 当群桩基础呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值可按下列式计算：

$$T_{gk} = \frac{1}{n} \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (5.2.2-3)$$

式中 T_{gk} ——基桩抗拔极限承载力标准值；

u_i ——桩群外围周长，可按本规程表 5.2.2-1 和表 5.2.2-2 分段计算；

n ——桩基中桩数。

5.3 单桩水平承载力计算

5.3.1 对于承受水平荷载较大的、设计等级为甲级的建筑桩基，其单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定。必要时可进行带承台或加竖向荷载的桩水平静载试验。试验宜采用慢速

维持荷载法，应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定进行。

5.3.2 三岔双向挤扩灌注桩可按桩身设计直径为 d 的等截面灌注桩，根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定进行水平承载力与位移计算。

5.4 桩身强度验算

5.4.1 三岔双向挤扩灌注桩桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。当轴心受压时，桩身强度应符合下式规定：

$$N \leq \psi_c f_c A \quad (5.4.1)$$

式中 N ——相应于荷载效应基本组合时的桩顶竖向压力设计值 (kN)；

ψ_c ——工作条件系数，取 0.80~0.90，泥浆护壁成孔时取低值，干作业成孔时取高值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值；

A ——桩身设计截面面积 (m^2)。

5.4.2 当三岔双向挤扩灌注桩的桩身设计直径 (d)、承力盘 (岔) 设计直径 (D) 和高度 (h) 符合本规程附录 C 的规定时，可不进行承力盘 (岔) 的抗剪和抗冲切验算。

5.4.3 对于抗拔桩的裂缝控制计算，应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

5.5 桩基沉降计算

5.5.1 当三岔双向挤扩灌注桩基需要进行沉降验算时，其沉降计算和沉降允许值应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定，其最终沉降量可按本规程第 5.5.2 条的规定计算。

5.5.2 三岔双向挤扩灌注桩基最终沉降量应按下式计算：

$$s = \psi_D s_z \quad (5.5.2)$$

式中 s ——三岔双向挤扩灌注桩基的最终沉降量 (mm);

ϕ_b ——桩基沉降修正系数, 根据地区沉降观测资料及经验确定, 无地区经验时可取 $\phi_b = 0.6 \sim 0.8$;

s_z ——按等截面桩基计算的最终沉降量 (mm), 即将三岔双向挤扩灌注桩的桩身直径 d 作为设计直径, 底承力盘平面作为桩端平面, 按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算的最终沉降量, 计算时尚应符合下列规定:

a 对于桩中心距小于或等于 $3D$ 的桩基, s_z 可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的等效作用分层总和法计算;

b 对于桩中心距大于 $3D$ 的桩基, s_z 宜按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 关于单桩、单排桩或疏桩基础的有关规定计算, 其中桩身压缩量应按本规程第 5.5.3 条确定。

5.5.3 三岔双向挤扩灌注桩身压缩量可按式简化计算:

$$s_c = \frac{Q_l m}{E_c A} \quad (5.5.3)$$

式中 s_c ——三岔双向挤扩灌注桩身压缩量 (mm);

Q ——相应于荷载准永久组合时的桩顶竖向力 (kN);

l_m ——顶承力盘平面以上的桩身长度 (m);

E_c ——桩身混凝土的弹性模量 (MPa);

A ——桩身设计横截面面积 (mm²)。

5.5.4 设计等级为甲级的三岔双向挤扩灌注桩基础宜进行沉降观测。

6 质量检查与检测要点

6.1 质量检查要点

6.1.1 三岔双向挤扩灌注桩的施工质量检查的要点包括对成孔、清孔、成腔、钢筋笼制作及混凝土灌注主要工序,以及对承力盘(岔)的数量和盘(岔)的位置的检查,并应符合表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 三岔双向挤扩灌注桩施工质量检查标准

检 查 项 目		允许偏差或 允许值		检 查 方 法
		单位	数值	
成孔	桩位	—	—	应按国家现行标准执行
	泥浆护壁成孔	mm	±50	用井径仪或超声波孔壁测定仪检测
	干作业成孔	mm	-20	用钢尺或井径仪检测
	孔深	mm	+300	1 用重锤测量; 2 测钻杆钻具长度
	成孔垂直度	%	<1	1 以挤扩装置自然入孔检查; 2 用测斜仪
清孔	虚土厚度(抗压桩)	mm	<100	用重锤测量
	虚土厚度(抗拔桩)	mm	<200	用重锤测量
成腔	盘径	%	-4	用承力盘腔直径检测器检测
	泥浆相对密度	—	<1.25	用比重计测量
钢筋笼制作	—	—	—	应按国家现行标准执行
混凝土灌注	混凝土坍落度(泥浆护壁)	mm	160~220	用坍落度仪测定
	混凝土坍落度(干作业)	mm	70~100	用坍落度仪测定
	混凝土强度	—	—	应符合设计要求
	混凝土充盈系数	—	>1	检查混凝土实际灌注量
	桩顶标高	mm	+30、 -50	用水准仪测量

6.1.2 本规程第 6.1.1 条未规定的施工质量检查项目，尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的相关规定。

6.1.3 三岔双向挤扩灌注桩的成孔记录应按本规程附录 H 填写。

6.1.4 三岔双向挤扩灌注桩的挤扩记录应按本规程附录 J 填写。

6.2 检测要点

6.2.1 三岔双向挤扩灌注桩基的工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性的抽样检测。

6.2.2 工程桩的竖向抗压承载力检测应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定，检测数量应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

6.2.3 当有本地区相近条件的对比验证资料时，高应变法也可作为本规程第 6.2.2 条规定条件下单桩竖向抗压承载力的验收检测的补充。抽检数量不宜少于总桩数的 5%，且不得少于 5 根。

6.2.4 桩身完整性检测可采用低应变法。设计等级为甲级或地质条件复杂的三岔双向挤扩灌注桩，抽检数量不应少于工程桩总数的 30%，且不得少于 20 根；其他设计等级桩基工程的抽检数量不应少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根；柱下三桩或三桩以下承台的抽检数量不得少于 1 根。

对于桩身设计直径大于 800mm 的三岔双向挤扩灌注桩的桩身完整性检测，除可采用低应变法外，也可选用声波透射法、钻芯法，后两者的抽检数量不应少于总桩数的 10%。

附录 A 三岔双向挤扩灌注桩的构造

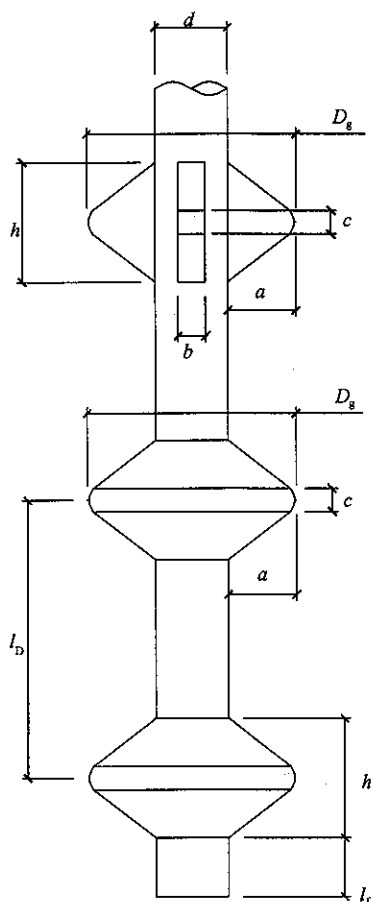


图 A 三岔双向挤扩灌注桩的构造示意
 a —承力盘（岔）宽度； b —承力岔厚度； c —承力盘（岔）外沿高度；
 d —桩身设计直径； h —承力盘（岔）高度； D_g —承力盘（岔）公称直径； l_D —承力盘竖向间距； l_t —桩根长度

附录 B 三岔双缸双向液压挤扩装置

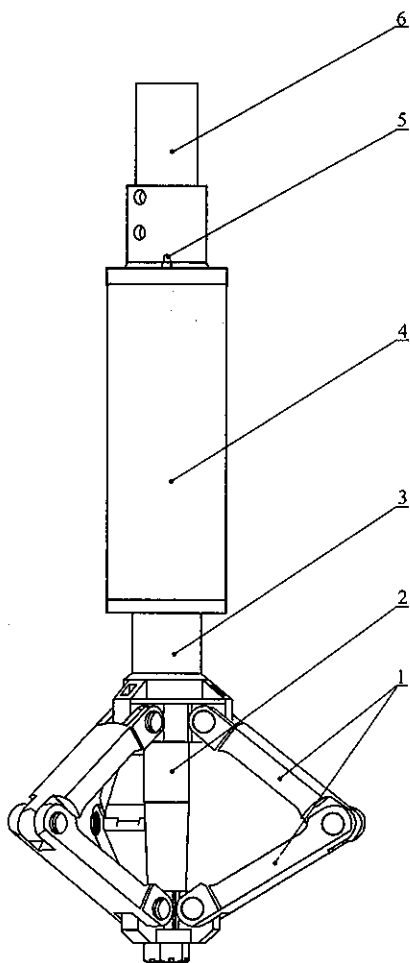


图 B 三岔双缸双向液压挤扩装置示意

1—三岔挤扩臂；2—内活塞杆；3—外活塞杆；4—缸筒；5—油管；6—接长杆

附录 C 三岔双缸双向液压挤扩 装置主要技术参数

表 C 三岔双缸双向液压挤扩装置主要技术参数

参 数 \ 设备型号	98-400 型	98-500 型	98-600 型	06-800 型	06-1000 型
桩 身 设 计 直 径 (mm)	450~550	500~650	600~800	800~1200	1200~1500
承力盘 (岔) 公称直 径 (mm)	1000	1200	1550	2050	2550
承力盘 (岔) 设计直 径 (mm)	900	1100	1400	1900	2400
挤扩呈公称直径时两 挤扩臂夹角 (°)	70	70	70	70	70
挤扩臂收回时最小直 径 (mm)	380	450	580	750	950
液压系统额定工作压 力 (MPa)	25	25	25	25	25
油缸公称输出压力 (kN)	1256	1256	2198	4270	4270
油泵流量 (L/min)	25	25	63	63	63
电机功率 (kW)	18.5	18.5	37	37	37

注：表中承力盘 (岔) 公称直径可根据实际工程需要作适当变动，随之相应的承力盘 (岔) 设计直径和桩身设计直径也作相应变动。

附录 D 承力盘腔直径检测器

D.0.1 承力盘腔直径检测器（图 D）的检测方法应符合下列规定：

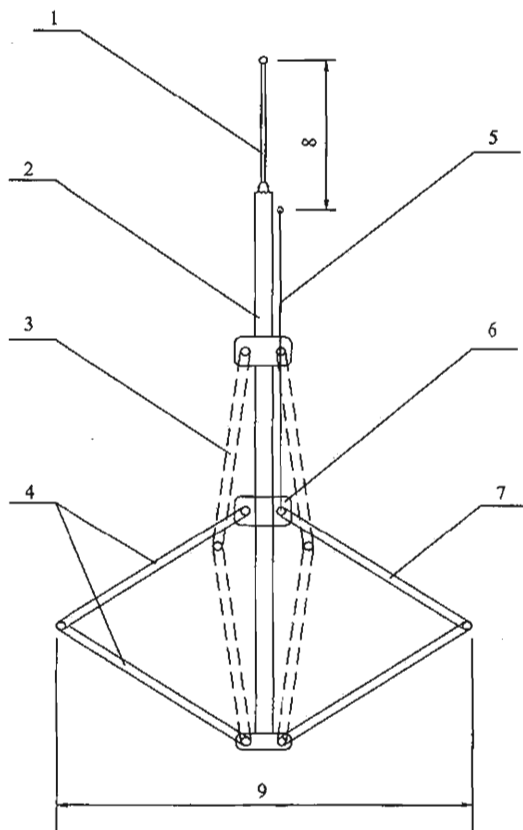


图 D 承力盘腔直径检测器构造示意

1—主测绳；2—主杆；3—收缩状态；4—测杆；5—
副测绳；6—配重；7—张开状态；8—落差；9—承
力盘腔直径

1 检测前，应对承力盘腔直径检测器进行测量标定，建立测杆张开状态时的直径（即盘径）和主、副测绳零点间距的承力盘腔直径与落差关系表；

2 将检测器放入到承力盘位置深度后，应放松副测绳，使测杆完全张开处于挤扩腔内，此时应提直副测绳；

3 应在孔口处测量主测绳与副测绳零点之间落差；

4 根据落差并由承力盘腔直径与落差关系表可查出相应的承力盘腔直径。

附录 E 三岔双向挤扩灌注桩主要参数

表 E 三岔双向挤扩灌注桩主要参数

三岔双缸 双向液压 挤扩装置 型号	桩身设计 直径 d (mm)	承力盘 (岔) 公称直径 D_g (mm)	挤扩臂 宽度 b (mm)	挤扩呈公 称直径时 挤扩臂 夹角 (°)	承力盘 (岔) 外沿高度 c (mm)	承力盘 (岔) 宽度 a (mm)	承力盘 (岔) 高度 h (mm)	承力盘 公称体积 V_{Bg} (m ³)	承力岔 公称体积 V_{bg} (m ³)	计算承载力参数			
										承力盘 (岔)设计 直径 D (mm)	承力盘 设计截面 面积 A_{pD} (m ²)	承力岔 设计截面 面积 A_{pd} (m ²)	桩身设计 截面面积 A (m ²)
98-400 型	450	1000	150	70	100	275	485	0.168	0.036	900	0.477	0.101	0.159
	500	1000	150	70	100	250	450	0.150	0.031	900	0.440	0.090	0.196
	550	1000	150	70	100	225	415	0.133	0.026	900	0.398	0.079	0.237
98-500 型	500	1200	180	70	120	350	610	0.309	0.069	1100	0.754	0.162	0.196
	550	1200	180	70	120	325	575	0.285	0.061	1100	0.712	0.149	0.237
	600	1200	180	70	120	300	540	0.260	0.053	1100	0.667	0.135	0.283
	650	1200	180	70	120	275	505	0.234	0.046	1100	0.618	0.122	0.332

续表 E

三岔双缸 双向液压 挤扩装置 型号	桩身设计 直径 d (mm)	承力盘 (岔) 公称直径 D_g (mm)	挤扩臂 宽度 b (mm)	挤扩呈公 称直径时 挤扩臂 夹角 (°)	承力盘 (岔) 外沿高度 c (mm)	承力盘 (岔) 宽度 a (mm)	承力盘 (岔) 高度 h (mm)	承力盘 公称体积 V_{Bg} (m³)	承力岔 公称体积 V_{bg} (m³)	计算承载力参数			
										承力盘 (岔)设计 直径 D (mm)	承力盘 设计截面 面积 A_{pd} (m²)	承力岔 设计截面 面积 A_{pd} (m²)	桩身设计 截面面积 A (m²)
98-600 型	600	1550	200	70	150	450	815	0.695	0.138	1400	1.256	0.240	0.283
	650	1550	200	70	150	450	780	0.655	0.126	1400	1.207	0.225	0.332
	700	1550	200	70	150	425	745	0.615	0.114	1400	1.154	0.210	0.385
	750	1550	200	70	150	400	710	0.574	0.103	1400	1.097	0.195	0.442
	800	1550	200	70	150	375	675	0.532	0.093	1400	1.036	0.180	0.502
06-800 型	800	2050	250	70	180	625	1055	1.547	0.290	1900	2.331	0.413	0.502
	850	2050	250	70	180	600	1020	1.480	0.270	1900	2.267	0.394	0.567
	900	2050	250	70	180	575	985	1.411	0.251	1900	2.198	0.375	0.636
	950	2050	250	70	180	550	950	1.341	0.233	1900	2.125	0.356	0.708
	1000	2050	250	70	180	525	915	1.269	0.216	1900	2.049	0.338	0.785

续表 E

三岔双缸 双向液压 挤扩装置 型号	桩身设计 直径 d (mm)	承力盘 (岔) 公称直径 D_g (mm)	挤扩臂 宽度 b (mm)	挤扩呈公 称直径时 挤扩臂 夹角 (°)	承力盘 (岔) 外沿高度 c (mm)	承力盘 (岔) 宽度 a (mm)	承力盘 (岔) 高度 h (mm)	承力盘 公称体积 V_{Bg} (m³)	承力岔 公称体积 V_{bg} (m³)	计算承载力参数			
										承力盘 (岔)设计 直径 D (mm)	承力盘 设计截面 面积 A_{pD} (m²)	承力岔 设计截面 面积 A_{pd} (m²)	桩身设计 截面面积 A (m²)
06-800 型	1050	2050	250	70	180	500	880	1.197	0.199	1900	1.968	0.319	0.865
	1100	2050	250	70	180	475	845	1.124	0.183	1900	1.884	0.300	0.950
	1150	2050	250	70	180	450	810	1.051	0.167	1900	1.796	0.281	1.038
	1200	2050	250	70	180	425	775	0.978	0.152	1900	1.703	0.263	1.130
06-1000 型	1200	2550	300	70	200	675	1145	2.445	0.409	2400	3.391	0.540	1.130
	1250	2550	300	70	200	650	1110	2.337	0.383	2400	3.295	0.518	1.227
	1300	2550	300	70	200	625	1075	2.227	0.359	2400	3.195	0.495	1.327
	1350	2550	300	70	200	600	1040	2.117	0.335	2400	3.091	0.473	1.431
	1400	2550	300	70	200	575	1005	2.007	0.312	2400	2.983	0.450	1.539
	1450	2550	300	70	200	550	970	1.897	0.290	2400	2.871	0.428	1.650
	1500	2550	300	70	200	525	935	1.786	0.268	2400	2.755	0.405	1.766

注: 1 计算承力盘和承力岔的工程量时, 应按表中承力盘和承力岔的公称体积 V_{Bg} 和 V_{bg} 取值;

2 计算三岔双向挤扩灌注桩承载力时, 应按表中承力盘和承力岔的设计直径 D 、设计截面面积 A_{pD} 和 A_{pd} 取值;

3 挤扩臂宽度等于承力岔厚度。

附录 F 单桩竖向抗压静载试验

F.1 一般规定

F.1.1 本方法适用于检测单桩的竖向抗压承载力。

F.1.2 当埋设有测量桩身应力、应变、桩端反力的传感器或位移杆时,可测定桩的分层侧阻力、盘端阻力、岔端阻力和桩端阻力或桩身截面的位移量。

F.1.3 为设计提供依据的试验桩,宜加载至破坏;当桩的承载力以桩身强度控制时,可按设计要求的加载量进行。

F.1.4 对工程桩抽样检测时,加载量不宜小于设计要求的单桩承载力特征值的 2 倍。

F.2 仪器设备及其安装

F.2.1 仪器设备及其安装应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定执行。三岔双向挤扩灌注桩的试桩与锚桩的中心距不应小于 2 倍承力盘设计直径。

F.3 现场检测

F.3.1 试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

F.3.2 桩顶部宜高出试坑底面,试坑底面宜与桩承台底面标高一致。混凝土桩头加固可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定执行,其中桩顶应设置钢筋网片 3~4 层,间距宜为 60~100mm。

F.3.3 检测前,应对试桩进行桩身完整性检测,也宜对锚桩进行桩身完整性检测。

F.3.4 试验加卸载方式应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定执行。

F.3.5 静载试验应采用慢速维持荷载法，其试验步骤应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定执行。当作为工程桩验收时也可采用快速维持荷载法进行试验（即每隔 1h 加一级荷载）。

F.3.6 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 桩顶荷载-桩顶沉降（ $Q-s$ ）曲线上有可判定极限承载力的陡降段；当 $Q-s$ 曲线呈缓变型时，桩顶总沉降量超过承力盘设计直径的 5%；

2 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准；

3 已达到设计要求的最大加载量；

4 当工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

F.4 检测数据的整理

F.4.1 确定单桩竖向抗压承载力时，应绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）曲线、沉降-荷载对数（ $s-\lg Q$ ）曲线、沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线，需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。

F.4.2 当进行桩身应力、应变和桩端反力测定时，应整理出有关数据的记录表，并按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 - 2003 附录 A 绘制桩身轴力分布图，计算不同土层的分层侧阻力、盘端阻力、岔端阻力和桩端阻力值。

F.5 单桩竖向抗压极限承载力（ Q_u ）的确定

F.5.1 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型 $Q-s$ 曲线，取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值；对于缓变型 $Q-s$ 曲线可根据沉降量确定，可取 $s=0.05D$ （ D 为承力盘设计直径）对应的荷载值。

F.5.2 根据沉降随荷载对数变化的特征确定：对于 $s-\lg Q$ 曲线，取其末段直线段的起始点对应的荷载值。

F.5.3 根据沉降随时间变化的特征确定：取 $s-\lg t$ 曲线尾部出现

明显向下弯曲的前一级荷载值。

F.5.4 出现本规程第 F.3.6 条第 2 款情况时，可取前一级荷载值。

F.5.5 按上述方法判断有困难时，可结合其他辅助分析方法综合判定。对桩基沉降有特殊要求时，应根据具体情况选取。

F.5.6 单桩竖向抗压极限承载力统计值的确定应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定。

F.5.7 单桩竖向抗压承载力特征值 (R_a) 应按单桩竖向抗压极限承载力统计值的 1/2 取值。

F.5.8 检测报告内容应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定。

附录 G 三岔双向挤扩灌注桩的极限 侧阻力标准值、极限盘端阻力标准值 和极限桩端阻力标准值

G.0.1 三岔双向挤扩灌注桩的极限侧阻力标准值可按表 G.0.1 取值。

**表 G.0.1 三岔双向挤扩灌注桩的极限侧阻力
标准值 q_{sik} (kPa)**

土的名称	土的状态		q_{sik} (kPa)
填 土	—		16~22
淤 泥	—		10~14
淤泥质土	—		16~22
黏性土	流塑	$I_L > 1$	20~30
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	40~54
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	54~66
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	66~75
	坚硬	$I_L \leq 0$	75~83
红黏土	$0.7 < a_w \leq 1$		12~26
	$0.5 < a_w \leq 0.7$		26~60
粉 土	稍密	$e > 0.9$	20~35
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	35~54
	密实	$e < 0.75$	54~68

续表 G.0.1

土的名称	土的状态		q_{sik} (kPa)
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	20~35
	中密	$15 < N \leq 30$	35~54
	密实	$N > 30$	54~68
中 砂	稍密	$10 < N \leq 15$	30~45
	中密	$15 < N \leq 30$	45~60
	密实	$N > 30$	60~77
粗 砂	稍密	$10 < N \leq 15$	40~60
	中密	$15 < N \leq 30$	60~80
	密实	$N > 30$	80~100
砾 砂	稍密	$10 < N_{63.5} \leq 15$	60~80
	中密	$15 < N_{63.5} \leq 30$	80~100
	密实	$N_{63.5} > 30$	100~120
圆砾、角砾	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 10$	65~85
	中密	$10 < N_{63.5} \leq 20$	85~125
	密实	$N_{63.5} > 20$	125~170
碎石、卵石	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 10$	80~120
	中密	$10 < N_{63.5} \leq 20$	120~160
	密实	$N_{63.5} > 20$	160~320

注：1 对于尚未完成自重固结的填土和以生活垃圾为主的杂填土，不计算其侧阻力；

2 a_w 为含水比， $a_w = w/w_L$ ， w 为天然含水量， w_L 为液限， e 为孔隙比， I_L 为液性指数；

3 N 为标准贯入击数， $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；

4 表中数值适用于老沉积土；对于新近沉积土， q_{sik} 应按土的状态，降一级取值。

G.0.2 三岔双向挤扩灌注桩的极限盘端阻力标准值和极限桩端阻力标准值可按表 G.0.2 取值。

表 G.0.2 三岔双向挤扩灌注桩的极限盘端阻力标准值 q_{Bk} 和极限桩端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

土的名称	土的状态		桩入土深度 l (m)					
			$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$15 \leq l < 20$	$20 \leq l < 25$	$25 \leq l < 30$	$l \geq 30$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	100~150	150~250	200~300	300~375	375~450	450~525
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	250~350	350~450	450~550	550~625	625~700	700~775
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	550~700	700~800	800~900	900~975	975~1050	1050~1125
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	750~1000	1000~1200	1200~1400	1400~1550	1550~1700	1700~1850
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	250~350	300~500	450~650	575~725	650~800	725~900
	密实	$e < 0.75$	550~800	650~900	750~1000	800~1000	850~1050	925~1050
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	200~400	350~500	450~550	550~625	625~700	725~800
	中密	$15 < N \leq 20$	400~650	650~800	800~900	900~1000	1000~1100	1000~1150
	密实	> 20	600~750	750~900	900~1050	1050~1150	1150~1350	1300~1450
细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	350~550	500~650	600~700	700~775	775~850	800~875
	中密	$15 < N \leq 30$	700~900	900~1000	1000~1150	1150~1300	1300~1450	1450~1600
	密实	> 30	800~1000	1000~1100	1100~1250	1250~1400	1400~1650	1600~1850
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	950~1100	1100~1300	1300~1450	1450~1600	1600~1750	1750~1900
	密实	> 30	1050~1250	1250~1400	1400~1550	1550~1700	1700~1850	1850~2050
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	1650~1900	1900~2150	2150~2300	2300~2400	2400~2500	2500~2600
	密实	> 30	1750~2000	2000~2250	2250~2400	2400~2500	2500~2600	2600~2700
砾砂	中密	$15 < N \leq 30$	1700~1900	1900~2300	2300~2500	2500~2600	2600~2700	2700~2800
	密实	> 30	1800~2000	2000~2400	2500~2600	2700~2800	2800~2900	2900~3000
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	1800~2100	2100~2500	2500~2700	2700~2800	2800~2900	2900~3200
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	2000~2300	2300~2700	2700~2900	2900~3000	3000~3100	3100~3300

- 注：1 砂土和碎石类土中桩的极限桩端阻力取值，宜综合考虑土的密实度、桩端进入持力层的深度比 h_b/d 及成孔方法；密实的、 h_b/d 大的土和干作业成孔时宜取高值；
- 2 I_L 为液性指数， e 为孔隙比， N 为标准贯入击数， $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；
- 3 极限盘端阻力标准值 q_{Bk} 按同条件的极限盘端阻力标准值 q_{Bk} 取值；
- 4 表中数值适用于老沉积土；对于新近沉积土， q_{Bk} 和 q_{pk} 应按土的状态，降一级取值。

附录 H 三岔双向挤扩灌注桩成孔记录表

表 H 三岔双向挤扩灌注桩成孔记录表

施工单位：

施工日期： 年 月 日

桩 号						成孔方式				钻机编号	
护筒标高 (m)				孔底标高 (m)		设计孔深 (m)				钻机型号	
设计桩径 (mm)				实际孔深 (m)		实际孔底标高 (m)				钻头类型	
成孔时间			本班进尺 (m)	累计进尺 (m)	钻孔偏位 情况	泥浆相对密度	地质情况	发生事故及处理方法	机长签字		
月	日	时									

记录员：

检验员：

技术负责人：

现场监理：

附录 J 三岔双向挤扩灌注桩挤扩记录表

表 J 三岔双向挤扩灌注桩挤扩记录表

工程名称:

施工单位						施工日期	年 月 日			
桩号		护筒标高 (m)		桩身设计直径 (mm)		钻机编号				
设计桩长 (m)		设计孔深 (m)		实际孔深 (m)		挤扩机编号				
承力盘设计直径 (mm)					作业班号					
盘位序号	盘位标高 (m)	盘位深度 (m)	作业时间	日 时 分 至 日 时 分						
一盘 (顶盘)			挤扩压力 P (MPa)							
			1	2	3	4	5	6	...	m
			挤扩盘径 D_s (mm)							
二盘			挤扩压力 P (MPa)							
			1	2	3	4	5	6	...	m
			挤扩盘径 D_s (mm)							
三盘			挤扩压力 P (MPa)							
			1	2	3	4	5	6	...	m
			挤扩盘径 D_s (mm)							

续表 J

四盘			挤扩压力 P (MPa)							
			1	2	3	4	5	6	...	m
			挤扩盘径 D_s (mm)							
.....			挤扩压力 P (MPa)							
			1	2	3	4	5	6	...	m
			挤扩盘径 D_s (mm)							
n 盘 (底盘)			挤扩压力 P (MPa)							
			1	2	3	4	5	6	...	m
			挤扩盘径 D_s (mm)							
有关情况说明:										
监理:		工程负责人:		校核人:		记录人:				
年 月 日		年 月 日		年 月 日		年 月 日				

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 3 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 4 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 5 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 6 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 7 《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267

中华人民共和国行业标准

三岔双向挤扩灌注桩设计规程

JGJ 171 - 2009

条文说明

目 次

1 总则	39
2 术语和符号	41
2.1 术语	41
3 基本规定	43
4 构造	48
5 设计	50
5.1 单桩竖向抗压承载力确定	50
5.2 桩基竖向抗拔承载力验算	57
5.3 单桩水平承载力计算	60
5.4 桩身强度验算	61
5.5 桩基沉降计算	75
6 质量检查与检测要点	79
6.1 质量检查要点	79
6.2 检测要点	80
附录 B 三岔双缸双向液压挤扩装置	81
附录 C 三岔双缸双向液压挤扩装置主要技术参数	82
附录 D 承力盘腔直径检测器	84
附录 E 三岔双向挤扩灌注桩主要参数	85
附录 F 单桩竖向抗压静载试验	86
附录 G 三岔双向挤扩灌注桩的极限侧阻力标准值、极限 盘端阻力标准值和极限桩端阻力标准值	88

1 总 则

1.0.1~1.0.3 三岔双向挤扩灌注桩通过沿桩身不同部位设置的承力盘和承力岔，使等直径灌注桩成为变截面多支点的端承摩擦桩或摩擦端承桩，从而改变桩的受力机理，显著提高单桩承载力，增加桩基稳定性，减小桩基础沉降，降低桩基工程造价。

三岔双向挤扩灌注桩可有以下若干种类型：多节 3 岔型桩、多节 $3n$ 岔型桩、单节、两节与多节承力盘桩及多节 3 岔（或 $3n$ 岔）与承力盘组合桩。

三岔双向挤扩灌注桩的设计要实现安全适用、经济合理、确保质量、节能环保和技术先进等目标，应综合考虑下列各因素，把握相关技术要点。

1 地质条件：建设场地的地质条件，包括地层分布特性与土性，地下水赋存状态与水质等，不仅是在特定荷载条件下确定桩径、桩长的主要因素，也是选择承力盘（岔）的主要依据。因此，场地勘察做到完整可靠，使设计人员可根据具体工程的地质条件，采用优化设计方法，从而提高设计质量。

2 上部结构类型、使用功能与荷载特征：上部结构有砌体、排架、框架、剪力墙、框剪、框筒及筒体等不同的结构形式，结构构件有不同的平面和竖向布置状况，致使每个建筑物都具有不同的刚度和整体性，其抗震性能及对地基变形有不同的适应能力。荷载特征是指荷载的动静态，恒载与可变荷载的大小，偶然荷载的大小，竖向压、拔荷载的大小，竖向荷载的偏心距，水平荷载的大小及其变化特征。建筑物使用功能不同，对地基基础的要求也不同。而不同的桩端与盘（岔）端持力层、承力盘（岔）的数量及其排列与布置等，则具有不同的竖向和水平承载力与变形性状。因此如何与上部结构相协调，如何适应上部结构是三岔

双向挤扩灌注桩的布置与计算应考虑的内容。

3 施工技术条件与环境：指三岔双向挤扩灌注桩成孔成桩设备、技术及其成熟性，施工现场的设备运转、弃土及排污要求等。

对于其他行业（例如电厂、机场、港口、石油化工、公路和铁路桥涵等）采用三岔双向挤扩灌注桩的工程，本规程亦可参照使用，但同时应满足相应的行业标准的规定。

三岔双向挤扩灌注桩已成功应用于国华黄骅电厂、大唐王滩电厂及京能官厅风电场等工程，成功应用于大广高速公路滹沱河分洪道特大桥、幸福渠大桥，唐曹高速公路南堡盐场特大桥，沿海高速公路（乐亭段）跨线桥等工程，还成功应用于中石油江苏液化天然气储罐桩基工程。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 三岔双向挤扩灌注桩是指采用三岔双缸双向液压挤扩装置完成挤扩腔体的挤扩灌注桩。该桩既可在地下水位以下的桩孔中挤扩成腔，也可在地下水位以上的桩孔中挤扩成腔。

2.1.2 承力岔的宽度、高度和厚度取决于三岔双缸双向液压挤扩装置的技术参数。承力岔的作用是作为竖向承载力的补充；增加三岔双向挤扩灌注桩的整体刚度及稳定性；在三岔双向挤扩灌注桩的上部桩身的较硬土层中设置承力岔以增加对水平荷载的抗力；当某些地层挤扩承力盘腔体可能会引起塌孔的情况，此时设置承力岔则因挤扩次数仅为1次，对土体扰动少而且能够保证承力岔腔体不坍塌。

2.1.3 承力盘可设置在桩身有效深度范围内较好土层中，以充分发挥三岔双向挤扩灌注桩的竖向承载力，承力盘的数量取决于建设场地的地质条件和荷载特征。承力盘的总盘端阻力是三岔双向挤扩灌注桩极限承载力的重要组成部分，因此承力盘腔的形成是三岔双向挤扩灌注桩的关键工序。

2.1.7 三岔双缸双向液压挤扩装置采用双液压缸、双向相对位移带动三对等长挤扩臂，挤扩时上下挤扩臂表面与土体紧密接触，从三个方向对土体进行横向挤压，使盘（岔）腔上下土体受到均衡压力，挤扩空腔顶壁土体不易坍塌，盘（岔）腔成型效果好。

2.1.9 每个承力盘腔的首次挤扩压力值可反映出该处地层的软硬程度，地面液压站的压力表指示数可以直观准确地显示该数值。在一定量的范围内通过对三岔双缸双向液压挤扩装置深度的调整，可有效地控制设计所选择的承力盘（岔）持力土层的位

置，保证单桩承载力能充分满足设计要求，同时还可掌握相关地层的厚薄软硬变化，弥补勘察精度的不足。挤扩装置可以容易地借助于起重设备的升降进行入孔深度的调整，这种主动调控性能是三岔双向挤扩灌注桩施工工艺的突出特点。需要说明的是，因地层土质条件不同，使用挤扩装置型号不同，首次挤扩压力值仅对同一工程同一地层具有相对的参考意义。

2.1.10 承力盘腔的形成是三岔双向挤扩灌注桩施工的关键工序，施工中应确保挤扩腔体的位置和尺寸符合设计要求，为此研制出与三岔双缸双向液压挤扩装置配套的承力盘腔直径检测器，它是用于测定三岔双向挤扩灌注桩承力盘腔直径的机械式专用检测装置，其特点是操作方便，测试数据可靠。实践表明，该检测器的测试精度高于超声波孔壁测定仪和井径仪，后两者均无法准确测定承力盘直径。

3 基本规定

3.0.3、3.0.4 本条对三岔双向挤扩灌注桩的承力盘(岔)的设置持力土层作出规定。

1 埋有实测内力元件的 30 余根三岔双向挤扩灌注桩试验结果表明,按地层土质、桩长、桩身直径、承力盘(岔)直径与数量及承力盘(岔)持力层等不同情况,从荷载传递机理看,三岔双向挤扩灌注桩可分属于端承摩擦桩或摩擦端承桩,而承力盘(岔)是三岔双向挤扩灌注桩的重要的承载部分。因此选择结构稳定、压缩性较小、承载能力较高的土层作为承力盘(岔)的持力土层对于保证三岔双向挤扩灌注桩的承载能力是十分重要的。实际工程经验表明,视承载要求,可塑-硬塑状态的黏性土层、稍密-密实状态的粉土和砂土层、中密-密实状态的卵砾石层及残积土层、全风化岩或强风化岩均可作为承力盘(岔)的持力层。

按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002 的规定,可塑-硬塑状态的黏性土是指 $0.25 < I_L \leq 0.75$ 至 $0 < I_L \leq 0.25$ (I_L 为液性指数)的黏性土;稍密-密实状态的砂土是指 $10 < N \leq 15$ 至 $N > 30$ (N 为标准贯入试验锤击数)的砂土;中密-密实状态的卵砾石层是指 $10 < N_{63.5} \leq 20$ 至 $N_{63.5} > 20$ ($N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探锤击数)的卵砾石。按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 的规定,稍密-密实状态的粉土是指 $e > 0.9$ 至 $e < 0.75$ 的粉土。

工程实践还表明,承力盘(岔)应设置在可塑-硬塑状态的黏性土层中或稍密-密实状态($N < 40$)的粉土和砂土层中;承力盘也可设置在密实状态($N \geq 40$)的粉土和砂土层或中密-密实状态的卵砾石层的上层面上;底承力盘也可设置在残积土层、

全风化岩或强风化岩层的上层面上。对于黏性土、粉土和砂土交互分层的地基中选用三岔双向挤扩灌注桩是很合适的。

以上的关于承力盘(岔)的设置原则基于以下情况:在地下水位以下的可塑-硬塑状态的黏性土层中或稍密-密实状态($N < 40$)的粉土和砂土层中挤扩盘(岔)腔时,由于存在一定水头压力,并有一定相对密度泥浆的保护,盘(岔)空腔形状完整不易坍塌。在埋深不足够深的密实状态($N \geq 40$)的粉土和砂土层中挤扩盘(岔)腔时,由于侧向约束过小,容易产生剪胀现象而使盘(岔)空腔形状不完整,故抗压桩的承力盘(岔)宜设置在该两类土层的顶面上。在中密-密实状态的卵砾石层中挤扩盘(岔)空腔时,视土层密实度情况可能会遇到下列两种现象,一是现有的挤扩装置挤不动,二是现有的挤扩装置可以挤动,但盘(岔)空腔形状不完整,故抗压桩的承力盘(岔)宜设置在该卵砾石层的顶面上。

山东省济南市某住宅小区采用1岔1盘的三岔双向挤扩灌注桩(桩身直径650mm,承力盘、岔设计直径1400mm,桩长11.58m和11.88m),底承力盘设置在强风化闪长岩的顶面上,单桩极限承载力分别为5712kN和5550kN,这与底承力盘设置在强风化闪长岩之内的效果完全相同,这是三岔双向挤扩灌注桩与普通灌注桩不同的一个显著特点,且经济效益显著。

2 在软弱土层、松散土层和一些特殊性质土层中设置承力盘(岔)难以发挥承载作用。淤泥及淤泥质土层、松散状态的砂土层和可能液化土层,除因承载能力弱不起作用外,还由于挤扩时土易发生流动或坍落,致使承力盘(岔)腔难以成型。故第3.0.3条规定,淤泥及淤泥质土层、松散状态的砂土层和可液化土层不得作为承力盘(岔)的持力土层。

按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002的规定,淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积,并经生物化学作用形成,其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于1.5的黏性土;天然含水量大于液限而天然孔隙比小于1.5但

大于或等于 1.0 的黏性土或粉土为淤泥质土；松散状态的砂土层是指 $N \leq 10$ 的砂土层。饱和砂土和饱和粉土的液化判别应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

湿陷性黄土属于非饱和的结构不稳定土，在一定压力作用下受水浸湿时，其结构迅速破坏，并发生显著的附加下沉。现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 - 2004 规定，“在湿陷性黄土场地采用桩基础，桩端必须穿透湿陷性黄土层，并应符合下列要求：1. 在非自重湿陷性黄土场地，桩端应支承在压缩性较低的非湿陷性黄土层中；2. 在自重湿陷性黄土场地，桩端应支承在可靠的岩（或土）层中”，故第 3.0.3 条规定，湿陷性黄土层不得作为承力盘（岔）的持力层。膨胀土是一种非饱和的、结构不稳定的高塑性黏性土，它的黏粒成分主要由亲水性矿物组成，在环境湿度变化影响下可产生强烈的胀缩变形。现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112 - 87 规定，“桩尖应锚固在非膨胀土层或伸入大气影响急剧层以下的土层中”，故第 3.0.3 条规定，大气影响深度以内的膨胀土层不得作为承力盘（岔）的持力层。某些遇水极易软化的强风化岩（例如泥岩、粉砂质泥岩等）挤压遇水后会发生崩解、软化成泥浆状，强度很低，降低盘（岔）端阻力，故第 3.0.3 条规定，遇水丧失承载力的强风化岩层不得作为承力盘（岔）的持力土层。

第 3.0.3 条为强制性条文。

3.0.5 承力盘（岔）进入持力土层的最小厚度主要是考虑尽量提高承力盘（岔）端阻力的要求。对于薄持力土层，且盘端持力土层下有软弱下卧层时，当盘（岔）进入持力土层过厚，反而会降低盘（岔）端阻力。考虑到承力盘和承力岔两者发挥承载作用不同，故两者要求的持力土层厚度略有差别。

3.0.6 抗压三岔双向挤扩灌注桩的承力盘（岔）应设置在承载土层的上部。本条规定是为了确保承力盘（岔）进入持力土层的深度，有效地发挥其端阻力。

3.0.7 本条的规定与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ

94-2008 第 3.3.3 条第 5 款一致。

3.0.8 本条是参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 3.3.3 条关于扩底桩的有关规定而制定的。

3.0.9 三岔双向挤扩灌注桩承受竖向荷载时,为使承力盘(岔)充分地发挥其承载作用,避免相邻承力盘(岔)产生应力作用区的重叠,根据国内外多节钻扩桩及我国各地区三岔双向挤扩灌注桩工程实践的经验,并考虑到承力盘(岔)持力土层的特性,本条规定承力盘的竖向中心间距、承力岔的竖向中心间距及承力岔与承力盘的竖向中心间距。

3.0.10 工程实践表明,为保证挤扩过程中底承力盘腔的完整性,桩根长度不宜小于 $2.0d$ 。

3.0.11 抗拔三岔双向挤扩灌注桩的承力盘(岔)宜设置在持力土层的下部,其设置原则如下:承力盘(岔)应设置在可塑-硬塑状态的黏性土层中或稍密-密实状态($N < 40$)的粉土和砂土层中;承力盘(岔)也可设置在密实状态($N \geq 40$)的粉土和砂土层或中密-密实状态的卵砾石层的底面下。其他要求,如承力盘(岔)的持力土层厚度、承力盘(岔)进入持力土层的深度、相邻桩的最小中心距和承力盘(岔)的竖向中心距均与抗压三岔双向挤扩灌注桩相同。为了充分发挥三岔双向挤扩灌注桩的抗拔承载力,顶承力盘(岔)的埋深不宜太小。

3.0.12 传统的挤扩灌注桩的挤扩盘(支)空腔是采用单向液压缸单向往下挤压的挤扩装置完成的。三岔双向挤扩灌注桩是对传统挤扩灌注桩进行了多方面实质性改进而发展起来的一种新型挤扩灌注桩,其承力盘(岔)空腔是采用三岔双缸双向液压挤扩装置完成的,该装置的特点是双液压缸双向相对位移带动三对等长挤扩臂在同一水平面上呈 120° 夹角的三个方向水平挤压土体,挤扩臂始终与土体接触,承力盘(岔)腔上下土体受到均衡挤压力,土体扰动小,加之挤扩臂外表面呈圆弧状,承力盘(岔)腔顶壁土体不易坍塌,承力盘(岔)腔成型效果好(图 1)。此外,一次挤扩,3 对挤扩臂同时工作,3 对挤扩臂所对应的三个上下

腔土体同时受力，完成水平向和竖向均对称的3岔形扩大腔，挤扩装置能准确与桩孔轴线对中，这是三岔双缸双向液压挤扩装置的另外一些特点。

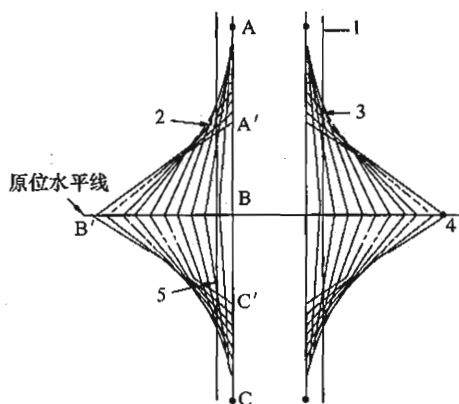


图1 三岔双缸双向挤扩装置的运动轨迹

1—桩孔壁；2—上挤扩臂；3—盘（岔）腔壁；
4—挤扩臂铰点轨迹；5—下挤扩臂

为确保三岔双向挤扩灌注桩的质量，本条规定，三岔双向挤扩灌注桩施工必须采用三岔双缸双向液压挤扩装置。

三岔双向挤扩灌注桩构造示意、三岔双缸双向液压挤扩装置示意与主要技术参数、承力盘腔直径检测器和三岔双向挤扩灌注桩主要参数分别列于本规程附录A～附录E。

4 构 造

4.0.1 关于三岔双向挤扩灌注桩的配筋率和配筋长度,本条主要参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 4.1.1 条的相关规定,同时考虑到三岔双向挤扩灌注桩属于端承摩擦桩或摩擦端承桩,作了以下规定:

1 截面配筋率为 0.40%~0.65%。

4.5 α 为桩的水平变形系数

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (1)$$

式中 m ——桩侧土水平抗力系数的比例系数;

b_0 ——桩身的计算宽度;

EI ——桩身抗弯刚度。

m 、 b_0 、 EI 的计算按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定执行。

6 对于仅设置一个底承力盘的三岔双向挤扩灌注桩,为确保其正常承载,宜通长配筋。

4.0.2 本条根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2002 第 3.4.1 条和第 3.4.2 条的规定,设计使用年限为 50 年的结构混凝土,环境类别为二 a 时,最低混凝土强度等级为 C25;环境类别为二 b 时,最低强度等级为 C30,当有可靠工程经验时,处于一类和二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级。由于三岔双向挤扩灌注桩与直孔灌注桩相比承载力大幅提高,设计时混凝土最低强度等级为 C25。

本条文为强制性条文。

4.0.3 本条对三岔双向挤扩灌注桩的保护层厚度作出具体规定。

本条的根据是现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-

2008 的相关规定。

按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2002 的规定四类环境指海水环境，五类环境指受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境。

5 设 计

5.1 单桩竖向抗压承载力确定

5.1.1 三岔双向挤扩灌注桩是近十年来研制开发出来的新桩型。施工前进行单桩竖向抗压静载试验,目的是为设计提供可靠依据。对设计等级高且缺乏地区经验的工程,为获得既可靠又准确的设计施工参数,前期试桩尤为重要。本条规定的试桩数量,与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002 和现行行业标准《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106-2003 基本一致,但当工程桩总数在 50 根以内时,试桩数量与现行行业标准《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106-2003 一致。

5.1.2 单桩竖向抗压承载力特征值的计算公式与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 5.2.2 条一致。

5.1.3 三岔双向挤扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力标准值估算公式理应包含下列 4 项:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{bk} + Q_{Bk} + Q_{pk} \quad (2)$$

式中 Q_{sk} 、 Q_{bk} 、 Q_{Bk} 和 Q_{pk} 分别为单桩总极限侧阻力标准值、单桩总极限岔端阻力标准值、单桩总极限盘端阻力标准值和单桩总极限桩端阻力标准值。

为进行承载力参数统计分析,共收集各地 83 根有效试桩资料,这些试桩分布于北京、天津、山东、黑龙江、河北、山西、福建、江苏、浙江等地。分析中首先对所有试桩逐一核实地层柱状图和土的物理力学特性,然后根据 11 根埋设测试元件的试桩资料,按实测数据划分出桩身侧阻力、承力盘(岔)端阻力和桩端阻力,经统计分析编制成表;此后根据 83 根试桩资料按式(2)验算承载力,经统计分析,调整形成附录 G;最后简化为规程计算式(5.1.3-1)。

式 (2) 中各分项可表达为如下各式:

$$Q_{sk} = Q_{ssk} + Q'_{bsk} + Q_{bsk} \quad (3)$$

$$Q_{ssk} = u \sum q_{sik} l_i \quad (4)$$

$$Q'_{bsk} = \sum (u - mb) q_{sik} h \quad (5)$$

$$Q_{bsk} = \sum ma q_{sik} h \quad (6)$$

$$Q_{bk} = \sum mab q_{bik} \quad (7)$$

$$Q_{Ek} = \eta \sum q_{Bik} A_{pD} \quad (8)$$

$$Q_{pk} = q_{pk} A_p \quad (9)$$

式中 Q_{ssk} ——单桩桩身 (不计承力岔段的桩身) 和桩根的总极限侧阻力标准值;

Q'_{bsk} ——单桩承力岔之间的桩身总极限侧阻力标准值;

Q_{bsk} ——单桩承力岔总极限侧阻力标准值;

q_{sik} ——单桩第 i 层土的极限侧阻力标准值;

q_{bik} ——单桩第 i 个岔的持力土层极限岔端阻力标准值;

q_{Bik} ——单桩第 i 个盘的持力土层极限盘端阻力标准值;

q_{pk} ——单桩极限桩端阻力标准值;

u ——桩身或桩根周长;

A_p ——桩端设计截面面积;

A_{pD} ——承力盘设计截面面积, 按承力盘在水平投影面上的面积扣除桩身设计截面面积计算;

l_i ——桩穿过第 i 层土的厚度;

m ——承力岔单个分岔数, $m=3n$;

n ——挤扩次数;

a ——承力岔宽度;

b ——承力岔厚度;

h ——承力盘 (岔) 高度。

由于三岔双向挤扩灌注桩的承力盘 (岔) 及桩端通常设置于较好的持力土层上, 单桩静载荷试验的 $Q-s$ 曲线一般呈缓变型。单桩承载力的取值宜按沉降控制, 并考虑上部结构对沉降的敏感性确定。取值方法是以对应桩顶沉降量 $s=0.005D$ 时的荷载值

为竖向抗压承载力特征值和对应于 $s\text{-lg}Q$ 曲线的末段直线段起始点与桩顶沉降量 $s=0.05D$ 时的荷载值为极限承载力综合分析得出。本次统计所收集到的试桩资料, 由于受加载量的限制, 大部分没有加载至极限荷载, 故采用逆斜率法拟合外推, 并结合 $s\text{-lg}Q$ 曲线的末段直线段起始点法和 $Q_{0.05D}$ (即桩顶沉降量等于承力盘设计直径 5% 时所对应的荷载) 法判定极限承载力。

当三岔双向挤扩灌注桩的承力盘(岔)及桩端设置在一般持力土层上时, 单桩静载荷试验的 $Q\text{-}s$ 曲线也会呈现陡降型的情况, 此时按 $Q\text{-}s$ 曲线明显陡降的起始点法、 $s\text{-lg}Q$ 曲线末段近乎竖向陡降的起始点法和 $s\text{-lg}t$ 曲线尾部明显转折法综合判定极限承载力。

对主要土层为第四纪全新世新近沉积土的山东省东营、菏泽、滨州、聊城、广饶、高唐及江苏省淮安等地区的 39 根试桩的承载力验算, 若不考虑地质年代, 估算值平均高于实测值 18.97%, 标准差 0.1490; 若将第四纪全新世新近沉积土层的状态降一等级后验算, 估算值平均低于实测值 14.07%, 标准差 0.1065, 具有一定的安全储备, 见图 2 (图中 Q_u 为单桩极限承

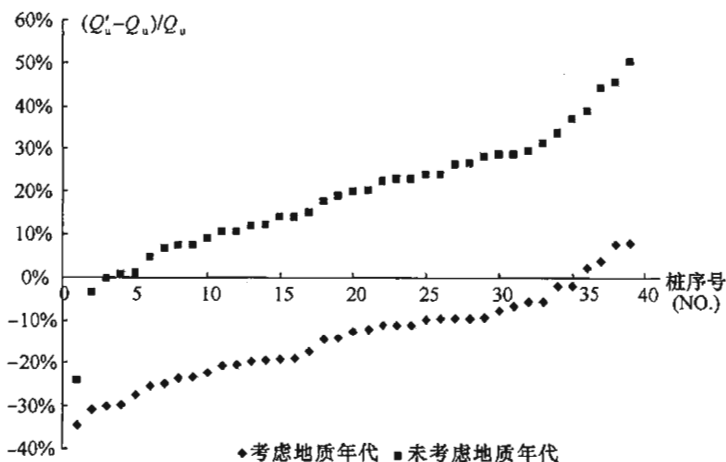


图 2 主要土层为第四纪全新世新近沉积土地区三岔双向挤扩灌注桩极限承载力的估算值与实测值比值

载力实测值； Q'_u 为单桩极限承载力估算值）。因此，建议对于主要土层为第四纪全新世新近沉积土，应将土层的状态降一等级后使用附录 G（表 G.0.1 和表 G.0.2）。此外，在承力盘（岔）或桩端应力扩散范围内可能埋藏有相对软弱的夹层时，应引起足够的注意，适当调低相应计算参数。

为验证计算式（2）的可靠性，将极限承载力实测值与计算值之比作为随机变量进行统计分析，其频数分布如图 4 所示。由图 3、图 4 可知，实测值与计算值之比为 1.0~1.2 之间者占 52%，实测值大于计算值者占 86%。经统计分析，实测值与计算值之比的平均值为 1.1495，标准差为 0.1554，变异系数为 0.1352，具有 95% 保证率的置信区间为 [0.8760, 1.4466]。说明计算值较实测值略偏小，具有必要的安全储备。

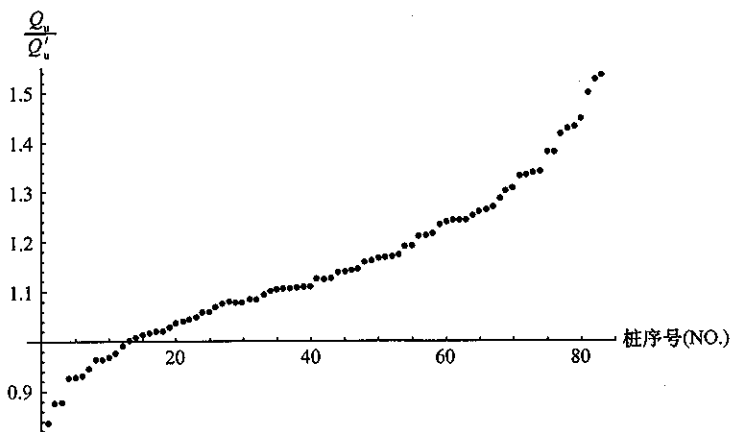


图 3 三岔双向挤扩灌注桩极限承载力实测值与式（2）
极限承载力估算值的比值

承力岔的主要作用是作为竖向抗压承载力的补充，增加桩的整体刚度，式（2）比较繁琐。为简化计算，在式（2）中将承力岔承载力忽略不计，简化后成为计算式（5.1.3-1）。对 30 根设置有一组 3 承力岔的三岔双向挤扩灌注桩（其中，1 岔 1 盘三岔双向挤扩灌注桩 3 根，1 岔 2 盘三岔双向挤扩灌注桩 20 根，1 岔

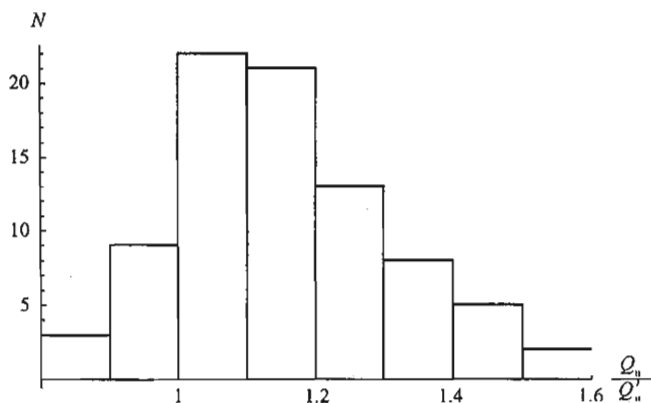


图4 三岔双向挤扩灌注桩极限承载力实测值与式(2)
极限承载力估算值的比值频数分布

3盘三岔双向挤扩灌注桩7根)按规程计算式(5.1.3-1)简化计算后发现,估算值减小1.30%~5.60%,平均减小3.0%,见图5。将极限承载力实测值与简化计算式(5.1.3-1)估算值之比作为随机变量进行统计分析,如图6、图7所示。实测值与计算值之比为1.00~1.20之间者占54%,实测值大于计算值者占

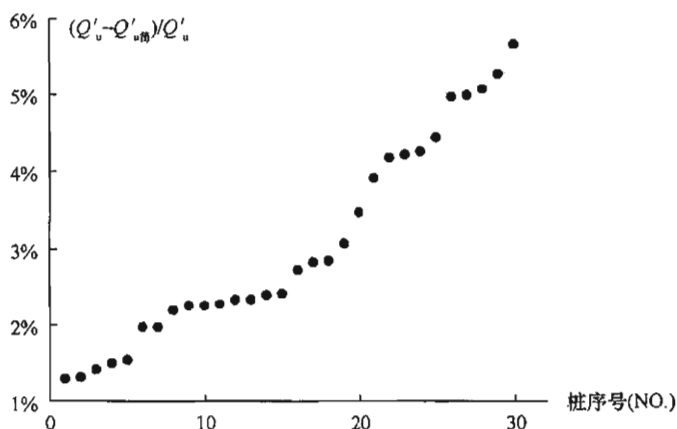


图5 三岔双向挤扩灌注桩的式(2)极限承载力估算值与式
(5.1.3-1)简化的极限承载力估算值的比值

88%。实测与计算值之比的平均值为 1.1628，标准差为 0.1600，变异系数为 0.1376，具有 95% 保证率的置信区间为 [0.8760, 1.4299]。

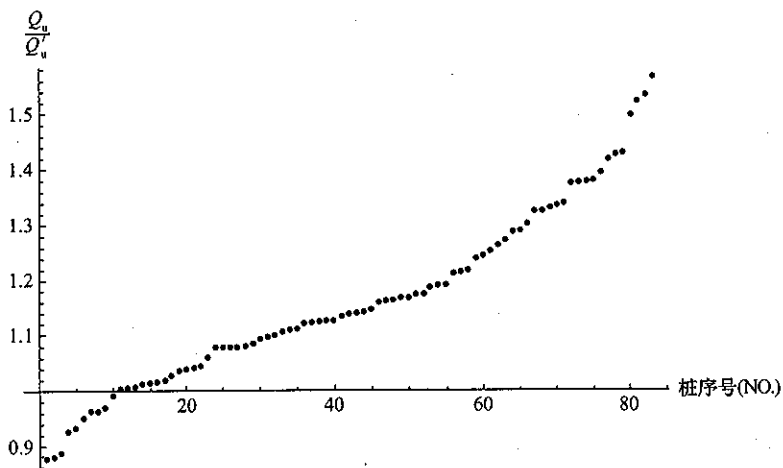


图 6 三岔双向挤扩灌注桩极限承载力实测值与式 (5.1.3-1) 简化的极限承载力估算值的比值

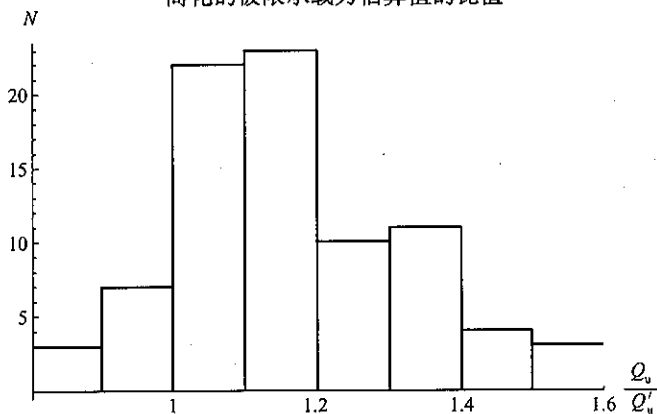


图 7 三岔双向挤扩灌注桩极限承载力实测值与式 (5.1.3-1) 简化的极限承载力估算值的比值频数分布

如果设有 3 组或 3 组以上 3 承力岔的三岔双向挤扩灌注桩，在式 (5.1.3-1) 中可计入单桩总极限岔端阻力标准值 Q_{bk} ，此时

$$Q_{bk} = \sum q_{bk} A_{pd}。$$

由式 (3) 可知单桩总极限侧阻力标准值 Q_{sk} 包含 Q_{ssk} 、 Q'_{bsk} 和 Q_{bsk} 3 项, 因 Q_{bsk} 占 Q_{sk} 的比例很小, 故可忽略不计。因此, Q_{sk} 为单桩全部桩身和桩根的总极限侧阻力标准值, 其表达式为:

$$Q_{sk} = u \sum q_{sk} l_i$$

问题在于桩侧阻力沿桩身全长是否有效。

英国 M. J. Tomlinson (1977) 提到: “在裂隙黏土中的钻孔桩端部设置扩大头时, 如果容许扩大头产生显著的沉降, 那么, 在一部分桩身上, 会损失黏着力”; “但是, 为谨慎起见, 扩大头以上 2 倍桩身直径的高度范围内桩侧阻力的支承作用可忽略不计”; “若忽视 2 倍桩身直径高度上的桩侧阻力并且对其余长度上取黏着力系数为 0.30 计算桩侧阻力, 那么, 带扩大头的桩与直孔桩相比, 在多数情况下, 就成为没有吸引力的建议”。另外, 还需要注意的是, Tomlinson 没有研究桩身设置多个扩大头的情况。

北京市建筑工程研究院沈保汉 (1986) 在分析北京地区钻孔扩底灌注桩的桩侧阻力和桩端阻力分配的试验研究结果后指出, “根据牛王庙、煤炭院和建研所的钻孔扩底试桩实际开挖发现, 虽然由于加载引起桩身沉降, 扩大头顶面和土体脱开 (最大间隙约为 100mm), 但土体没有发生塌落现象, 土体和桩身结合牢固。因此可以认为, 桩侧阻力沿桩身全长上是有效的”。

现行北京市标准《北京地区大直径灌注桩技术规程》DBJ 01-502-99 也规定, 桩侧阻力沿桩身全长上是有效的。

清华大学常冬冬 (2001) 在硕士学位论文中说明了具有 4 个承力盘的三岔双向挤扩灌注桩, 在各级桩顶荷载下的桩侧阻力的分布和发展情况的研究结果, 并进行有限元分析计算, 该桩的主要参数为: 桩身直径 $d=0.5\text{m}$, 承力盘直径 $D=1.50\text{m}$, $D/d=3$, 承力盘间距 $S_D=3.60\text{m}$, $S_D/D=2.40$, 桩长 $L=15\text{m}$ 。地基土采用单一的中砂层, 天然密度 $\gamma=1.80\text{g/cm}^3$, 弹性模量 4.23MPa 。计算分析表明:

1 在承力盘位置附近的桩侧阻力发生突变,在承力盘上方(0~0.5m)范围内桩侧阻力急剧减小,甚至在靠近承力盘的上斜面处出现负摩阻力,而在承力盘下方(0.5~1.0m)范围内桩侧阻力有较大增加,这是因为桩身和承力盘的沉降使承力盘的下方土体被挤密并提高该处土体的约束应力所致;

2 承力盘对桩侧阻力的影响程度随桩顶荷载的增大而增大。

30余根三岔双向挤扩灌注桩实测桩侧阻力结果表明,承力盘的下方斜面一定范围内土体的密实度因挤压而增加,同时在受力时径向力增大,导致该区桩侧阻力增大;虽然,承力盘上部桩身与土体的相对位移使土体脱空,有时会使该区桩侧阻力减小,但其减少幅度比承力盘下方区桩侧阻力增大的幅度要小得多。可以认为,综合两方面的因素对桩侧阻力的影响不大,甚至还处于有利状态。

综上所述,式(5.1.3-1)中计算三岔双向挤扩灌注桩的总桩侧阻力 Q_{sk} 时,既不考虑承力盘下方区桩侧阻力的增大,也不考虑承力盘上方区桩侧阻力的减小,即桩侧阻力 q_{sik} 沿桩身全长是有效的(承力盘高度范围内不计侧阻力),是偏于安全的。

三岔双向挤扩灌注桩的承力盘腔是通过三岔双缸双向液压挤扩装置挤压成孔,盘端土体经挤压后密度提高,几乎没有扰动、松弛或回弹现象,这与钻扩成孔或挖扩成孔工艺显著不同,故在式(5.1.3-1)中 Q_{bk} 的计算不考虑端阻尺寸效应系数。

30余根三岔双向挤扩灌注桩实测盘端阻力的结果表明,各承力盘分担桩顶荷载的比例是不一样的。通常情况是,顶承力盘先受力,以下各承力盘逐渐发挥出更大的承载力。基于上述情况,式(5.1.3-1)中 Q_{bk} 为各承力盘端阻力的叠加值乘以总盘端阻力调整系数 η 值,建议 $\eta=0.93$,盘数少于3个时,不考虑折减。

5.2 桩基竖向抗拔承载力验算

5.2.1 桩基可能呈单桩拔出或者群桩整体拔出两种破坏模式,

对这两种破坏模式的承载力应分别进行验算, 桩基设计抗拔承载力取其中的小值。本规程的式(5.2.1-1)和式(5.2.1-2)为根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008所列的两种破坏模式的验算公式。

5.2.2 本条是关于群桩和单桩的抗拔承载力确定问题。

1 单桩抗拔承载力一般应通过单桩竖向抗拔静载试验确定。

2 关于抗拔侧阻力折减系数, 表 5.2.2-3 取自现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008。

3 在初步设计时, 可用本规程建议的公式估算。基桩抗拔承载力的估算有理论计算模式和基于试验结果的经验公式。其中带有承力盘(岔)的单桩, 其抗拔的破坏机理更加复杂。本规程参考了理论和试验两种方法。

梅耶霍夫(Meyerhof)对浅埋与深埋两种锚板的计算方法基本上是采用锚板以上一定高度范围(ξD)用直径为锚板直径 D 的破裂柱面计算侧阻力。原行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-94对于扩底桩也是采用相似的方法, 但是该规范规定在扩底以上高度 $5d$ (d 为桩身直径)范围内, 按扩底直径的破裂柱面计算侧阻力, 超过 $5d$ 部分按桩身与土的界面计算。这种计算没有考虑不同土类中土的内摩擦角对破裂柱面高度的影响, 该规范修订时(即现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008)改为 $(4\sim 8)d$, 随土的摩擦角增加而增加, 但是仍然偏小。例如梅耶霍夫建议, 当土的内摩擦角 $\varphi=20^\circ\sim 45^\circ$ 时, 破裂柱面高度可达 $(2.5\sim 9.0)D$, D 为锚板直径。三岔双向挤扩灌注桩的承力盘可参考这种计算方法。

有的试验表明, 扩底或承力盘的深度对于破裂柱面高度有影响, 埋深越大, 高度与直径的比值越小, 所以承力盘不宜过深过多, 也不宜过浅($\geq \xi D$)。

本规程给出的表 5.2.2-2 基于梅耶霍夫的建议值, 通过已经取得的一些试验结果验证, 表明表中数值基本合理, 以下举例说明:

例 1 室外大比例尺模型桩竖向抗拔静载试验, 桩身直径为 $d=0.2\text{m}$, 桩长 $L=4.7\text{m}$, 承力盘直径为 $D=0.6\text{m}$, 承力盘位于密实细砂土层中。桩顶上拔量为 18mm 时, 实测承力盘的抗拔极限端阻力约为 180kN , 总抗拔极限阻力大于 318kN 。如果全长用直径为 0.6m 的破裂柱面计算侧阻力, 与试验结果很接近, 亦即 $\xi_i \approx 7 \sim 8$ 。由于承力盘的埋深小于 5m , 侧阻力均乘以 0.8 的修正系数 (表 1)。

表 1 用承力盘以上范围采用 $D=0.6\text{m}$ 计算侧阻力得到的总极限抗拔力

土层编号	深度范围 (m)	单位极限摩阻力 q_{sik} (kPa)	λ_i	$\lambda_i q_{sik} u_i l_i$ (kN)
①填土	0~0.7	16	0.7	18.5
②粉质黏土 (硬塑)	0.7~2.6	65.6	0.7	164.5
③粉质黏土 (可塑)	2.6~3.7	49.6	0.7	72
④密实细砂	3.7~4.7	56	0.6	63
合计	318kN			

例 2 北京官厅水库南岸风力发电场, 基础采用三岔双向挤扩灌注桩基础。桩周土层主要为承载力较高的粉土及粉质黏土, 在现场进行了单桩载荷试验, 3 根为抗拔试桩。桩长 22m , 桩身直径 700mm , 在 -9.7m 和 -19.4m 处分别设置了两个承力盘, 直径为 1500mm 。3 根桩 (L1、L2、L3) 在上拔荷载为 2000kN 时的桩顶上拔量分别为 9.23mm 、 9.10mm 和 9.86mm 。其上拔荷载—桩顶上拔量曲线无陡降段, 最后几级基本呈直线, 经两种方法外推其抗拔极限承载力接近于试验外推值。由于试验最后一级的实际桩顶上拔量偏小, 用双曲线外推的抗拔极限承载力也偏小 (表 2)。

表 2 外推的抗拔极限承载力与估算结果比较

桩 号	L1	L2	L3
2000kN 时桩顶上拔量 (mm)	9.23	9.10	9.86
双曲线法外推值 (kN)	2400 (32.14mm)	2400 (25.34mm)	2400 (17.78mm)
本规程计算值 (kN)	2585		$\lambda=0.7, \xi=3.0$

例 3 天津宁发花园东苑工程中进行了 3 根三岔双向挤扩灌注桩的抗拔静载试验, 桩周主要为粉质黏土, 处于可塑到流塑状态。分别编号为 T1, T2 和 T3。桩长 25.5m, 桩身直径 650mm, 在 -16.5m 设置一个承力岔, 在 -20m 和 -24m 处分别设置了两个承力盘, 设计盘径为 1400mm, 混凝土强度等级为 C25。试验外推结果与估算结果见表 3, 其中考虑桩的自重及三个承力盘与其周围的土体自重为 482kN 时, 计算结果更符合抗拔极限承载力试验外推值。

表 3 抗拔极限承载力比较

桩 号	T1	T2	T3
试验最大荷载 (kN)	2500 (17.03mm)	2500 (15.52mm)	2500 (22.94mm)
双曲线法外推值 (kN)	3000 (27mm)	3000 (31mm)	2750 (34.5mm)
本规程计算值 (kN) (自重 482kN)	2782	2770	2715

5.3 单桩水平承载力计算

5.3.1 影响三岔双向挤扩灌注桩水平承载力的因素除桩的抗弯强度 (它取决于桩身截面尺寸、承力盘或承力岔的位置与尺寸、配筋情况及混凝土强度等)、桩顶允许位移和地基土的物理力学性能外, 还有桩顶嵌固情况、承力盘 (岔) 与桩端的约束情况、桩顶竖向荷载的大小以及承台的底面阻力和侧面抗力等。三岔双向挤扩灌注桩是带有一个或多个扩径体的变截面桩, 要按某一种分析计算法较准确地确定其单桩水平承载力是困难的, 故对于承受水平荷载较大的设计等级为甲级的三岔双向挤扩灌注桩基, 应

按水平静载试验确定其单桩水平承载力特征值。

根据设计要求，三岔双向挤扩灌注桩的水平静载试验可进行桩顶自由的单桩试验，加竖向荷载的单桩试验及带承台的单桩或多桩试验等。

5.4 桩身强度验算

5.4.1 三岔双向挤扩灌注桩的桩身钢筋混凝土正截面轴心受压承载力验算，应符合式（5.4.1）的规定，该式的物理意义是，在考虑桩工作条件影响因素的情况时，荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值不得大于桩身材料的混凝土轴心抗压承载力设计值。

钢筋混凝土轴向受压桩正截面受压承载力的计算涉及标准试块与桩身受力状态的差异、纵向主筋的作用、箍筋的作用及成孔成桩工艺等因素。三岔双向挤扩灌注桩属于端承摩擦桩和摩擦端承桩，桩身材料强度的合理确定对于单桩承载力的充分发挥有十分重要的意义。

现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2002 中定义混凝土抗压强度等级是按没有横向约束的立方体抗压强度标准值作为基本指标，而实际工程中的桩身材料，却是处于复合受力工作状态。国内外对圆柱体混凝土试件周围的加液试验结果表明，当侧向液压力值不是很大时，最大主压力轴向极限强度随着侧向压应力数值的增加而提高。上述试件的受力状态比较贴切地模拟桩身受力的实际情况。

轴向受压桩的承载性状与上部结构柱相近，较柱的受力条件更为有利的是桩周受土的约束，而且侧阻力使轴向荷载随深度递减，因此桩身受压承载力由桩顶下一定区段控制。纵向主筋的承压作用在一定条件下可计入桩身受压承载力。

箍筋不仅起水平抗剪作用，更重要的是起侧向约束增强作用。密排的箍筋约束桩身的变形，抑制桩身内部细小裂缝的开展和贯通，从而使桩身混凝土抗压能力得以提高。曼德尔等（Mander et

al, 1984) 指出, 带箍筋约束的混凝土轴心抗压强度较无约束混凝土提高 80% 左右, 且其应力-应变关系得到改善。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 - 2008 规定, 凡桩顶以下 $5d$ 范围箍筋间距不大于 100mm 时, 均可考虑纵向主筋的作用。

由此可见, 桩身抗压能力, 不仅局限于桩身混凝土材料本身, 还包括纵向主筋和箍筋的贡献。

此外, 桩身混凝土强度和截面变异受成孔成桩工艺的影响。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 - 2008, 就其成桩环境、质量可控程度不同, 规定成孔工艺系数如下: 干作业非挤土灌注桩为 0.90, 泥浆护壁和套管护壁的非挤土灌注桩、部分挤土灌注桩为 0.75~0.80。

综上所述式 (5.4.1) 中工作条件系数 ψ_c 应综合考虑桩身受压状态、纵向主筋与箍筋的作用及成孔成桩工艺等因素。

对于式 (5.4.1) 验算桩身强度, 从所收集到的 63 组 172 根泥浆护壁成孔三岔双向挤扩灌注桩及 4 组 12 根干作业成孔三岔双向挤扩灌注桩静载试验结果与桩身受压极限承载力计算值 R_u 进行比较, 以检验桩身受压承载力计算模式的合理性和安全性 (列于表 4 和表 5)。其中 R_u 按下列公式计算:

$$R_u = f_c A$$

表 4 和表 5 未考虑纵向主筋的承压作用和箍筋的侧向约束增强作用。

从表 4 可见, 对比结果有三种情况, 表中 $Q_{\max}$ 为试桩最大加载值。

第一大组中有 17 根桩 (武汉 WW-1 号桩至南阳 HNR-3 号桩), $\psi_c = Q_{\max}/R_u = 1.27 \sim 2.00$, 即使加载值较大, 还未见桩身压碎的情况。第二大组中有 56 根桩 (天津 T191-1 号桩至济南 SJBN-1 号桩), $\psi_c = Q_{\max}/R_u = 0.77 \sim 1.27$, 该大组的加载值略偏小。第三大组中有 16 根桩 (济南 SJW-1 号桩至乐亭 HYGG-2 号桩), $\psi_c = Q_{\max}/R_u = 0.59 \sim 0.78$, 该大组的加载值均偏小, 故 ψ_c 也偏小, 表明加载值还有较大的上升空间, 这样 ψ_c 值还可增大。

表 4 泥浆护壁成孔三岔双向挤扩灌注桩桩身受压承载力计算与试验结果

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (m ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
武汉	WW-1	620	0.3018	24.0	0/4	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	6656	40.12	4315.08	1.54
	WW-2	620	0.3018	24.0	0/4	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	5554	25.93	4315.08	1.29
	WW-3	620	0.3018	24.0	0/4	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	6032	36.57	4315.08	1.40
天津	TL-1	700	0.3847	29.7	0/3	C30	14.3	6 ϕ 18	ϕ 6@100	7600	37.76	5500.50	1.38
	TL-3	700	0.3847	29.7	0/3	C30	14.3	6 ϕ 18	ϕ 6@100	7200	46.45	5500.50	1.31
济南	SJB-1	620	0.3018	26.4	0/2	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	5845	16.66	4315.08	1.35
	SJB-3	620	0.3018	26.5	0/2	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	5500	19.93	4315.08	1.27
东营	DC-1	600	0.2826	32.3	0/4	C20	9.6	8 ϕ 12	ϕ 6@100	4400	14.74	2712.96	1.62
	DC-3	600	0.2826	32.3	0/4	C20	9.6	8 ϕ 12	ϕ 6@100	3960	22.93	2712.96	1.46
王滩	HTW-1	700	0.3847	34.3	0/2	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	9000	69.33	5500.50	1.64
	HTW-2	700	0.3847	34.3	0/2	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	10400	40.00	5500.50	1.89
	HTW-3	700	0.3847	34.2	0/2	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	11000	54.54	5500.50	2.00
南京	NLK-2	700	0.3847	52.7	0/3	C35	16.7	16 ϕ 12	ϕ 8@100	10800	30.89	6423.66	1.68

续表 4

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (m ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
孝感	HXL-1	650	0.3317	22.0	0/3	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	7200	21.76	4742.77	1.52
	HXL-3	550	0.2375	22.0	0/3	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	4840	29.07	3395.71	1.43
南阳	HNR-1	600	0.2826	11.5	0/1	C40	19.1	12 ϕ 16	ϕ 8@100	8320	42.47	5397.66	1.54
	HNR-3	600	0.2826	11.5	0/1	C40	19.1	12 ϕ 16	ϕ 8@100	7680	47.37	5397.66	1.42
天津	T191-1	700	0.3847	34.9	0/4	C35	16.7	10 ϕ 18	ϕ 8@100	7500	53.07	6423.66	1.17
	T191-2	700	0.3847	34.9	0/4	C35	16.7	10 ϕ 18	ϕ 8@100	6000	37.55	6423.66	0.93
大港	TD-2	620	0.3018	25.0	1/2	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	4000	49.80	4315.08	0.93
德州	SDL-1	650	0.3317	32.0	0/3	C35	16.7	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4773	37.06	5538.76	0.86
东营	DD-1	450	0.1590	23.8	0/2	C25	11.9	6 ϕ 14	ϕ 6@100	1870	20.10	1891.65	0.99
济南	SJH-1	650	0.3317	26.3	1/3	C40	19.1	8 ϕ 14	ϕ 8@100	5720	13.57	6334.75	0.90
济南	SJS-1	650	0.3317	11.6	1/1	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4284	16.76	4742.77	0.90
	SJS-3	650	0.3317	10.1	1/1	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4500	9.53	4742.77	0.95
滨州	LB-1	650	0.3317	33.2	0/4	C35	16.7	10 ϕ 16	ϕ 8@100	4500	26.71	5538.76	0.81
	LB-3	500	0.1963	31.5	0/3	C35	16.7	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3600	56.11	3277.38	1.10

续表 4

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截 面积 A (m ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
济南	SJS-2	650	0.3317	12.9	1/1	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4500	17.79	4742.77	0.95
	SJS-4	650	0.3317	9.6	1/1	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4200	16.93	4742.77	0.89
济南	JWL-1	650	0.3317	11.8	1/2	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	5000	13.39	4742.77	1.05
济宁	SJSL-1	650	0.3317	18.9	1/2	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4400	30.48	3946.78	1.11
	SJSL-2	650	0.3317	18.8	1/2	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4800	31.93	3946.78	1.22
	SJSL-3	650	0.3317	18.8	1/2	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4600	14.46	3946.78	1.17
聊城	SLW-1	500	0.1963	18.0	0/2	C30	14.3	6 ϕ 14	ϕ 6@100	2600	11.32	2806.38	0.93
淮安	JHJ-1	700	0.3847	27.7	0/4	C30	14.3	10 ϕ 16	ϕ 8@100	5500	41.74	5500.50	1.00
	JHJ-3	700	0.3847	27.9	0/4	C30	14.3	10 ϕ 16	ϕ 8@100	5800	37.41	5500.50	1.05
包头	BL-1	500	0.1963	17.1	0/4	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	2986	33.63	2806.38	1.06
	BL-2	620	0.3018	16.0	0/3	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4983	40.95	4315.08	1.15
	BL-3	500	0.1963	18.0	0/4	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	3424	27.28	2806.38	1.22
	BL-4	620	0.3018	17.6	0/3	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	3828	28.87	4315.08	0.89
	BL-5	620	0.3018	17.6	0/3	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4003	40.81	4315.08	0.93
	BL-6	500	0.1963	15.1	0/3	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	2602	25.52	2806.38	0.93
	BL-7	500	0.1963	15.1	0/3	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	2384	30.32	2806.38	0.85

续表 4

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (m ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
王滩	HTW-4	700	0.3847	22.0	0/1	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	5400	50.80	5500.50	0.98
	HTW-5	700	0.3847	21.9	0/1	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	5600	50.48	5500.50	1.02
	HTW-6	700	0.3847	21.5	0/1	C30	14.3	10 ϕ 18	ϕ 8@100	4800	51.89	5500.50	0.87
广饶	SGR-1	610	0.2921	18.8	1/2	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	3960	37.69	4177.01	0.95
	SGR-2	610	0.2921	18.8	1/2	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	4400	30.79	4177.01	1.05
	SGR-4	500	0.1963	18.8	1/2	C30	14.3	8 ϕ 16	ϕ 8@100	2880	37.18	2806.38	1.03
南阳	HNR-4	700	0.3847	29.6	0/2	C40	19.1	12 ϕ 16	ϕ 8@100	8320	42.47	7346.82	1.13
东营	SLD-1	650	0.3317	31.4	0/4	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	5000	15.36	3946.78	1.27
	SLD-2	650	0.3317	31.4	1/3	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4500	32.99	3946.78	1.14
	SLD-3	650	0.3317	31.1	1/3	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4635	26.48	3946.78	1.17
邹平	SZC-1	650	0.3317	23.5	0/2	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	4550	17.09	3946.78	1.15
	SZC-2	650	0.3317	22.2	0/2	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	4900	18.20	3946.78	1.24
西安	SXD-1	700	0.3847	28.2	0/4	C35	16.7	10 ϕ 16	ϕ 8@100	7200	23.59	6423.66	1.12

续表 4

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (mm ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
高唐	SGS-1	650	0.3317	29.7	0/3	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	4026	31.55	3946.78	1.02
	SGS-2	650	0.3317	22.2	0/3	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3250	26.15	3946.78	0.82
	SGS-3	650	0.3317	23.7	0/3	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3025	10.84	3946.78	0.77
	SGS-4	650	0.3317	29.4	0/4	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3850	18.99	3946.78	0.98
	SGS-5	650	0.3317	29.6	0/3	C25	11.9	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3780	23.93	3946.78	0.96
平湖	ZPH-1	800	0.5024	62.0	0/5	C35	16.7	12 ϕ 18	ϕ 6.5@100	10000	24.74	8390.08	1.19
济南	SJBY-1	700	0.3847	24.9	0/3	C45	21.1	12 ϕ 25	ϕ 8@100	7000	14.30	8116.12	0.86
菏泽	SHJ-1	650	0.3317	30.4	0/3	C40	19.1	9 ϕ 25	ϕ 8@100	5091	13.82	6334.75	0.80
	SHJ-2	650	0.3317	31.9	0/3	C40	19.1	9 ϕ 25	ϕ 8@100	5091	14.58	6334.75	0.80
济南	SJQS-1	650	0.3317	12.5	0/2	C30	14.3	8 ϕ 22	ϕ 8@100	4681	45.43	4742.77	0.99
济南	SJCD-1	500	0.1963	21.8	0/4	C45	21.1	6 ϕ 16	ϕ 8@100	3600	12.74	4140.88	0.87

续表 4

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (m ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
天津	TNF-2	700	0.3847	46.5	2/5	C40	19.1	12 ϕ 16	ϕ 8@100	8250	37.97	7346.82	1.12
北京	BHC-1	700	0.3847	36.1	0/3	C35	16.7	10 ϕ 20	ϕ 8@100	6000	14.77	6423.66	0.93
厦门	FXCY-1	900	0.6359	37.6	0/3	C40	19.1	22 ϕ 28	ϕ 8@100	9350	54.00	12144.74	0.77
	FXCY-2	900	0.6359	37.0	0/3	C40	19.1	22 ϕ 28	ϕ 8@100	12570	54.00	12144.74	1.04
	FXCY-3	900	0.6359	37.8	0/3	C40	19.1	22 ϕ 28	ϕ 8@100	12800	16.60	12144.74	1.05
济南	SJBN-1	650	0.3317	16.0	0/2	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	3800	15.00	4742.77	0.80
济南	SJW-1	650	0.3317	16.0	1/1	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	2840	18.01	4742.77	0.60
	SJW-3	650	0.3317	16.0	1/1	C30	14.3	8 ϕ 14	ϕ 8@100	2730	25.41	4742.77	0.58
菏泽	SLH-1	650	0.3317	24.0	1/2	C35	16.7	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3480	12.60	5538.76	0.63
菏泽	SCY-1	700	0.3847	29.8	0/4	C40	19.1	8 ϕ 22	ϕ 8@100	5182	19.57	7346.82	0.71
济南	SJRT-1	600	0.2826	11.5	0/1	C40	19.1	10 ϕ 16	ϕ 8@100	3700	15.96	5397.66	0.69

续表 4

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (mm ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
北京	BGFD-1	700	0.3847	22.0	0/2	C35	16.7	12 ϕ 16	ϕ 8@100	4500	26.45	6423.66	0.70
唐山	HTC-1	1500	1.7663	50.7	0/3	C30	14.3	12 ϕ 20	ϕ 10@100	15000	11.72	25257.38	0.59
东营	DJ-1	450	0.1590	17.6	1/2	C30	14.3	6 ϕ 14	ϕ 6@100	1700	11.18	2273.16	0.75
东营	STSZ-1	650	0.3317	24.4	1/2	C25	11.9	8 ϕ 16	ϕ 8@100	2900	24.82	3946.78	0.73
	STSZ-4	650	0.3317	25.0	1/2	C25	11.9	8 ϕ 16	ϕ 8@100	2800	35.30	3946.78	0.71
商丘	HMQ-1	700	0.3847	35.7	0/2	C40	19.1	12 ϕ 16	ϕ 8@100	5500	14.86	7346.82	0.75
	HMQ-3	700	0.3847	36.0	0/2	C40	19.1	12 ϕ 16	ϕ 8@100	5750	25.58	7346.82	0.78
济南	SJCD-3	500	0.1963	18.2	0/3	C45	21.1	6 ϕ 16	ϕ 8@100	2800	12.53	4140.88	0.68
	SJCD-4	700	0.3847	21.9	0/4	C45	21.1	6 ϕ 16	ϕ 8@100	6000	9.68	8116.12	0.74
	SJCD-6	500	0.1963	18.1	0/3	C45	21.1	6 ϕ 16	ϕ 8@100	2520	15.33	4140.88	0.61
乐亭	HYGG-2	1100	0.9499	20.7	0/2	C30	14.3	10 ϕ 22	ϕ 8@100	9600	21.81	13582.86	0.71

注: 1 同一组试桩相同的情况, 仅列出一根试桩的数据;

2 泥浆护壁成孔含正循环钻成孔、反循环钻成孔及旋挖(钻斗钻)成孔。

表5 干作业成孔三岔双向挤扩灌注桩桩身受压承载力计算与试验结果

试桩地点	桩号	桩径 d (mm)	桩身横截面积 A (m ²)	桩长 L (m)	岔/盘数 (个)	试桩桩身 混凝土强度 等级	f_c (MPa)	主筋	桩顶 5d 下箍筋	最大加载 Q_{max} (kN)	桩顶沉降 (mm)	试桩桩身 抗压极限 承载力 R_u (kN)	$\frac{Q_{max}}{R_u}$
济宁	SJSL-1	650	0.3317	18.9	1/2	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4400	30.48	3946.78	1.11
	SJSL-2	650	0.3317	18.8	1/2	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4800	31.93	3946.78	1.22
	SJSL-3	650	0.3317	18.8	1/2	C25	11.9	8 ϕ 14	ϕ 8@100	4600	14.46	3946.78	1.17
徐州	JXX-1	450	0.1590	14.0	0/3	C35	16.7	6 ϕ 14	ϕ 6@100	1980	7.02	2654.67	0.75
	JXX-2	450	0.1590	15.5	0/3	C35	16.7	6 ϕ 14	ϕ 6@100	2000	6.37	2654.67	0.75
	JXX-3	450	0.1590	15.3	0/3	C35	16.7	6 ϕ 14	ϕ 6@100	2000	6.24	2654.67	0.75
宝日希勒	NBZK-1	700	0.3847	17.0	0/3	C30	14.3	12 ϕ 18	ϕ 8@100	6000	29.61	5500.50	1.09
	NBZK-2	700	0.3847	17.0	0/3	C30	14.3	12 ϕ 18	ϕ 8@100	5250	34.69	5500.50	0.95
	NBZK-3	700	0.3847	17.0	0/3	C30	14.3	12 ϕ 18	ϕ 8@100	6750	32.81	5500.50	1.23
	NBZK-4	700	0.3847	25.0	0/4	C30	14.3	12 ϕ 18	ϕ 8@100	7000	10.77	5500.50	1.27
	NBZK-5	700	0.3847	25.0	0/4	C30	14.3	12 ϕ 18	ϕ 8@100	7000	9.84	5500.50	1.27
	NBZK-6	700	0.3847	25.0	0/4	C30	14.3	12 ϕ 18	ϕ 8@100	7000	9.78	5500.50	1.27

注：干作业成孔含长螺旋钻成孔和旋挖（钻斗钻）成孔。

从表 5 可见,对比结果有两种情况,表中 $Q_{\max}$ 亦为试桩最大加载值。

第一大组中有 3 组试桩(济宁 SJSL 一组,宝日希勒 NBZK 两组), $\psi_c = Q_{\max}/R_u = 0.95 \sim 1.27$ 。第二大组中仅有徐州 JXX 一组,因最大加载值偏小, $\psi_c = Q_{\max}/R_u = 0.75$,即 ψ_c 偏小,表明加载值还有较大的上升空间,这样 ψ_c 值还可增大。

综上所述,本条取 $\psi_c = 0.80 \sim 0.90$,泥浆护壁成孔时取低值,干作业成孔时取高值,既合理又安全。

这里应强调说明一个问题,在工程实践中常见有静载试验中桩头或桩身被压坏的现象,其实这往往是试桩桩头处理不当所致,试桩桩头未按国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2003 附录 B“混凝土桩桩头处理”的规定进行处理,如:桩顶千斤顶接触不平整引起应力集中,桩顶混凝土再处理后强度过低,加载偏心过大,桩顶未加钢板围束或未设箍筋等,由此导致桩头先行破坏。很明显,这种由于试验处置不当而导致无法真实评价单桩承载力的现象是应该而且完全可以防止的。

5.4.2 本条是关于三岔双向挤扩灌注桩的承力盘(岔)的抗剪和抗冲切验算。

1 抗剪验算

根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2002 式(7.5.1-1)规定,该式可用于三岔双向挤扩灌注桩承力盘(岔)的抗剪验算,验算公式如下:

$$V \leq 0.25 f_c A_v \quad (10)$$

式中 V ——承力盘(岔)承受的最大剪力设计值;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

A_v ——承力盘(岔)剪切截面积。

根据对 30 余根三岔双向挤扩灌注桩实测承力盘(岔)端阻力的统计,视承力盘(岔)的位置和土层情况,极限盘(岔)端阻力为 208~2928kPa。为用上述公式进行验算,取本规程附录

G 表 G.0.2 中最大值, 即 $q_{bk}=q_{bk}=3300\text{kPa}$; 桩身混凝土强度等级取最低值, 即 C25, $f_c=11900\text{kPa}$ 。以下按相应于 5 种承力盘 (岔) 设计直径的最大和最小承力盘高度的情况列表 6 和表 7 进行抗剪验算。

1) 承力盘抗剪验算

表 6 承力盘抗剪验算

桩身设计直径 d (mm)	450	550	500	650	600	800	800	1200	1200	1500
承力盘设计直径 D (mm)	900	900	1100	1100	1400	1400	1900	1900	2400	2400
承力盘高度 h (mm)	485	415	610	505	815	675	1055	775	1145	935
承力盘设计截面面积 A_{pD} (m^2)	0.477	0.398	0.754	0.618	1.256	1.036	2.331	1.703	3.391	2.755
承力盘最大剪力设计值 $V=3300 \cdot A_{pD}$ (kN)	1574	1313	2488	2039	4145	3419	7692	5619	11190	9091
承力盘总剪切抗力 $[V]$ $[V]=0.25f_c \cdot \pi dh$ (kN)	2039	2132	2849	3066	4568	5044	7884	8688	12835	13101

2) 承力岔抗剪验算

表 7 承力岔抗剪验算

桩身设计直径 d (mm)	450	550	500	650	600	800	800	1200	1200	1500
承力岔设计直径 D (mm)	900	900	1100	1100	1400	1400	1900	1900	2400	2400
承力岔高度 h (mm)	485	415	610	505	815	675	1055	775	1145	935
承力岔厚度 b (mm)	150	150	180	180	200	200	250	250	300	300
承力岔设计截面面积 A_{pd} (m^2)	0.101	0.079	0.162	0.122	0.240	0.180	0.413	0.263	0.540	0.405
承力岔最大剪力设计值 $V=3300 \cdot A_{pd}$ (kN)	330	261	535	403	792	594	1363	868	1782	1337
承力盘总剪切抗力 $[V]$ $[V]=0.25f_c \cdot 3bh$ (kN)	649	556	980	811	1455	1205	2354	1729	3066	2503

承力盘(岔)抗剪验算结果表明,当三岔双向挤扩灌注桩的桩身设计直径 d 、承力盘(岔)设计直径 D 和高度 h 符合附录C的规定时,可不进行承力盘(岔)的抗剪验算。

2 抗冲切验算

吉林大学钱永梅(2002)在博士学位论文中研究了双坡形式的承力盘(相当于三岔双向挤扩灌注桩的承力盘)的冲切破坏问题,主要论点如下:

1) 基本假定

- ①承力盘冲切破坏形态类似于斜拉破坏,其所形成的圆台斜裂面与水平面大致成 45° 倾角,是一种脆性破坏,如图8所示;
- ②桩顶外荷载属于轴心作用荷载;
- ③承力盘下的土为均质各向同性的。

2) 冲切理论分析

参考混凝土独立基础冲切破坏理论,承力盘在承受桩顶传来的荷载时,如果沿桩周边的承力盘高度不够,就会发生如图8所示的由于冲切承载力不足的截面,呈圆台斜裂面破坏,为了保证不发生冲切破坏,必须使冲切面以外的地基反力所产生的冲切力 F_L 不超过冲切面处混凝土的抗冲切能力,如图8所示。

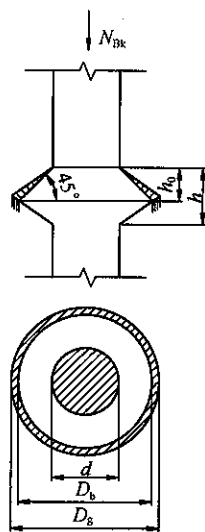


图8 冲切破坏计算

根据上述理论,承力盘高度需满足如下条件:

$$F_L \leq 0.7 f_t \cdot L_m \cdot h_0 \quad (11)$$

$$F_L = q_{Bk} \cdot A_L$$

$$L_m = \frac{d + D_b}{2} \pi$$

$$D_b = d + 2h_0$$

$$h_0 = \frac{h(D_g - d)}{h + D_g - d}$$

$$q_{\text{Bk}} = \frac{N_{\text{Bk}}}{A} = \frac{N_{\text{Bk}}}{\pi \left[\left(\frac{D_g}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]} = \frac{4N_{\text{Bk}}}{\pi (D_g^2 - d^2)}$$

式中 F_L ——盘端地基所产生的冲切力；

f_t ——混凝土抗拉强度设计值；

L_m ——混凝土抗冲切破坏面中截面周长；

d ——桩身设计直径；

D_b ——冲切破坏圆台斜截面的下边直径；

h ——承力盘高度；

h_0 ——承力盘有效高度；

D_g ——承力盘公称直径；

A_L ——考虑冲切荷载时取用的圆环面积，图 8 中的阴影部分；

q_{Bk} ——相当于在荷载效应基本组合时承力盘的轴向压力设计值 N_{Bk} 作用下的盘端阻力；

A ——扣除桩身设计截面面积，在水平投影面上的承力盘公称截面面积。

经转换后，式 (11) 可变为

$$N_{\text{Bk}} \leq 2.2f_t \cdot h_0(d + h_0) \frac{D_g^2 - d^2}{D_g^2 - (d + 2h_0)^2} \quad (12)$$

式 (12) 中采用承力盘公称直径以考虑冲切破坏的不利情况，需要说明的是，式 (12) 是参考钱永梅博士学位论文中第 4.2 章式 (7) 并最终经本规程编制组修正后得出的。

表 8 按相应于 5 种承力盘公称直径的最大和最小桩身设计直径与承力盘高度的情况列表进行抗冲切验算。验算时 q_{Bk} 取最大值，即 $q_{\text{Bk}} = 3300 \text{ kPa}$ ；桩身混凝土强度等级取最低值，即 C25， $f_t = 1270 \text{ kPa}$ 。

承力盘抗冲切验算结果表明，当三岔双向挤扩灌注桩的桩身设计直径 d 、承力盘公称直径 D_g 和高度 h 符合附录 C 的规定时，可不进行承力盘的抗冲切验算，进而也可推断可不进行承力盘的

抗冲切验算。

表 8 承力盘抗冲切验算

桩身设计直径 d (mm)	450	550	500	650	600	800	800	1200	1200	1500
承力盘公称直径 D_g (mm)	1000	1000	1200	1200	1550	1550	2050	2050	2550	2550
承力盘高度 h (mm)	485	415	610	505	815	675	1055	775	1145	935
承力盘轴向压力设计值 $N_{Ek} = 0.785q_{Ek}(D_g^2 - d^2)$ (kN)	1878	1643	2803	2396	4810	4151	8390	6506	11922	10015
式 (11) 右部 (kN)	5987	8930	7914	12260	11820	16729	18499	31531	28813	38236

5.5 桩基沉降计算

5.5.2 三岔双向挤扩灌注桩基是一种变截面灌注桩基础，其荷载传递规律和沉降机理均不同于等截面灌注桩基础。鉴于其荷载传递和沉降机理的复杂性，目前还不足以提出理论严密而又简便易行的计算方法，只能采取以现行计算方法为基本依据，再根据工程实践经验加以修正的办法来确定变截面灌注桩基的沉降量。

理论与工程实践证明，三岔双向挤扩灌注桩独特的施工工艺和荷载传递规律决定其沉降必然小于等截面灌注桩基础的沉降：

1 三岔双向挤扩灌注桩的荷载大部分通过承力盘的底面传递给各持力土层，而各承力盘持力土层的压缩性均很低。

2 由于三岔双缸双向液压挤扩装置的水平向强力挤压，各承力盘腔底面土体明显压密，这有利于减小承力盘的沉降。

3 承力盘腔的底面是向桩孔倾斜的坡面，水平倾斜角为 35° ，这就使得钻孔泥渣无法存留，从而保证从受荷一开始承力盘的支承刚度就能得以发挥；而底承力盘下面“桩根”的存在，更可消除钻孔泥浆沉淀对沉降的影响，因此沉降很小。

4 三岔双向挤扩灌注桩的桩周应力和承力盘下端土中的应力收敛较快，桩距较大，这就使得桩间土中的桩周应力互不重

叠；桩基础底端土体中的附加应力也互不重叠或不产生具有工程意义的应力重叠。这就是说，三岔双向挤扩灌注桩基础一般不产生不利的群桩效应。所以，与等截面灌注桩基础相比，三岔双向挤扩灌注桩基础底端土体中的附加应力和压缩层厚度均大大减小，因此，沉降小且稳定快。

本规程提出的沉降计算公式正是基于一个被理论和实践证明的规律：三岔双向挤扩灌注桩基与相同桩身设计直径的等截面桩基的沉降，具有一定的相关性；而且，三岔双向挤扩灌注桩基的沉降量较类似条件下相同桩身设计直径的等截面灌注桩基的沉降量小得多。因此，本规程提出先以等截面灌注桩基础的现行沉降计算方法，即按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的公式计算沉降量 s_z ，再进行适当修正的方法来确定三岔双向挤扩灌注桩基的最终沉降量 s 。

实际工程沉降观测资料表明，三岔双向挤扩灌注桩基的沉降量较同类条件下的相同桩身设计直径的等截面灌注桩基的沉降量减小 30%~60%。为安全起见，本规程取修正系数 $\psi_0=0.6\sim 0.8$ 。若当地已有可靠的经验，亦可采用小于 0.6 的修正系数。

具体说来，按照桩基础的布桩情况， s_z 分为两类进行计算：

- 1) 对于桩中心距小于或等于 $3D$ 的桩基，即桩基础作为群桩基础工作时， s_z 可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 公式 (5.5.6) 的等效作用分层总和法计算；
- 2) 对于桩中心距大于 $3D$ 的桩基，即桩基础作为单桩、单排桩或疏桩基础工作时， s_z 宜按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 关于单桩、单排桩或疏桩基础的有关规定计算；由于三岔双向挤扩灌注桩的承载力高，桩距一般较大，因此，三岔双向挤扩灌注桩基础常属于单桩基础或疏桩基础，所以，其沉降量常需按此计算。

部分三岔双向挤扩灌注桩工程的实测沉降资料如表 9 所示。

表9 三岔双向挤扩灌注桩工程实测沉降资料

地区	工程名称	层数	桩身设计 直径 (mm)	承力盆 (盘) 设计直径 (mm)	承力盆/ 盘数 (个)	桩长 (m)	桩数 (根)	最大实测 沉降量 (mm)	实测平均 沉降量 (mm)	观测 天数 (d)	盘端、桩端 持力土层	相关的等截 面桩基础的 沉降范围 (mm)
济南	数码港七 号住宅楼	11	650	1400	1/1	9.60~ 14.80	135	8.89	4.77	500	全风化 闪长岩	10~20
济南	长泰大厦	29	750	1400	0/3	22.00	170	3.88	2.58	102	黏土、 粉质黏土	20~50
济南	槐荫政务 中心大厦	16	650	1400	1/3	25.00	229	7.64	5.05	198	卵石、 黏土、 粉质黏土	20~50
菏泽	联通菏泽 分公司	11	650	1400	1/2	20.50	175	13.50	12.25	310	粉土	20~50
武汉	伟业大厦	19	620	1400	0/4	24.00	174	12.83	9.16	302	粉砂、 粉细砂	20~30
滨州	联通枢纽楼	8	650	1400	1/3	27.50~ 29.50	126	5.00	4.50	395	粉质黏土、 黏土	20~40

表 9 中等截面灌注桩基础的相关性是指与三岔双向挤扩灌注桩的地质条件类似和竖向抗压承载力相同的条件。以武汉伟业大厦三岔挤扩灌注桩基础为例,观测天数为 302d,实测沉降速率已小于 0.01mm/d,表示沉降已稳定。武汉地区的工程实践表明,类似于伟业大厦的工程条件,若采用直径为 620mm 的等截面灌注桩,则桩长需 40m 左右,并且桩端要入岩,其桩基础最终沉降量将达到 20~30mm。

由此可见,本规程第 5.5.2 条是一种简化方法。其主要优点是:与现行有关规范保持一致,并最大限度地利用了行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的成果;本规程建议的方法对于设计人员来说十分熟悉,便于操作;同时基本符合三岔双向挤扩灌注桩基础的沉降规律。

5.5.3 关于三岔双向挤扩灌注桩的桩身压缩量计算,本规程采取了简化的做法,即仅计算顶承力盘平面以上的桩身的压缩量。这是基于以下考虑:

1 顶承力盘平面以上桩身的应力较高,桩顶荷载经过顶承力盘分担以后,顶承力盘平面以下桩身的应力大大减小,因此顶承力盘平面以下桩身的压缩量较小;

2 顶承力盘平面以下各段桩身的轴力和桩身应力很难确定,因此难以准确计算它们的压缩量;

3 桩身的压缩是弹性变形,在结构封顶后即基本完成,对建筑物后期的沉降,特别是不均匀沉降不产生明显影响,因此,即使忽略微量的桩身压缩变形,也不会影响建筑物的沉降分析结果。

5.5.4 基于沉降观测的重要性的必要性,本条规定设计等级为甲级的三岔双向挤扩灌注桩基础宜进行沉降观测。

6 质量检查与检测要点

6.1 质量检查要点

6.1.1 现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2002 和现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2003 均以强制性条文规定必须对基桩承载力和桩身完整性进行检验。三岔双向挤扩灌注桩的桩身和承力盘（岔）的质量及孔底虚土厚度等与基桩承载力密切相关。因此，为加强三岔双向挤扩灌注桩施工过程中的检验，本条规定三岔双向挤扩灌注桩的施工质量检查应包括 5 个主要工序的检查，除检查成孔、清孔、钢筋笼制作及混凝土灌注等 4 项常规施工质量外，还应重点检查挤扩承力盘腔的质量。承力盘腔的质量主要指承力盘腔的直径、标高、持力土层、间距、挤扩次数、旋转角度及首次挤扩压力值等参数和内容，其盘腔直径用三岔双向挤扩灌注桩专用的机械式承力盘腔直径检测器进行检测。

混凝土灌注前的孔底虚土，对于干作业成孔的三岔双向挤扩灌注桩主要是指钻具的扰动土、孔口和孔壁的回落土；对于泥浆护壁成孔的三岔双向挤扩灌注桩主要是指沉渣。本条对使用功能不同的桩，规定不同的允许虚土厚度标准。

6.1.2 本条规定第 6.1.1 条未作规定的施工检查标准，如：三岔双向挤扩灌注桩的平面位置的允许偏差、钢筋笼质量检验标准等均应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2002 中表 5.1.4、表 5.6.4-1 和表 5.6.4-2 等相关规定，其中表 5.6.4-2 规定混凝土灌注桩主控检查项目为桩位、孔深、桩体质量检验、混凝土强度和承载力，对于三岔双向挤扩灌注桩的主控项目除包括上述 5 个项目外还应包括承力盘（岔）的数量和盘（岔）位置。

6.2 检测要点

6.2.1、6.2.2 这两条符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 - 2002 和现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 - 2003 的有关规定。

6.2.3 本条强调当有本地区相近条件的对比验证资料时，高应变法可作为单桩竖向抗压承载力的验收检测的补充。

附录 B 三岔双缸双向液压挤扩装置

三岔双缸双向液压挤扩装置是通过液压动力推动与双向油缸相连的内外活塞杆作大小相等方向相反的位移，带动三对等长挤扩臂在桩身孔壁的设计部位土体中扩展和回收以形成承力岔腔或承力盘腔的机械设备。

该装置在挤扩时上下挤扩臂表面与土体紧密接触，以夹角为 120° 三方向水平挤压土体，使盘（岔）腔上下土体受到均衡压力，土体扰动小，加之挤扩臂外表面呈圆弧状，挤扩空腔顶壁土体不易坍塌，盘（岔）腔成型效果好；此外，挤扩装置能准确与桩孔轴心对中。

附录 C 三岔双缸双向液压挤扩装置 主要技术参数

表中列出已研制开发出的 5 种型号三岔双缸双向液压挤扩装置的主要技术参数。表中承力盘（岔）的公称直径是指对应于挤扩装置上下挤扩臂的夹角为 70° 时所形成的挤扩盘（岔）腔直径。

考虑到承力盘（岔）的竖向剖面形状的特点和保证一定的承载安全度，承力盘（岔）设计直径略小于承力盘（岔）公称直径。

三岔双向挤扩灌注桩的扩径率和扩大率列于表 10。

表 10 三岔双向挤扩灌注桩的扩径率和扩大率

设备型号 参数	98-400 型	98-500 型	98-600 型	06-800 型	06-1000 型
桩身设计直径 d (mm)	450~550	500~650	600~800	800~1200	1200~1500
承力盘（岔）公称直径 D_g (mm)	1000	1200	1550	2050	2550
扩径率 I (D_g/d)	2.22~ 1.82	2.40~ 1.85	2.58~ 1.94	2.56~ 1.71	2.13~ 1.70
承力盘（岔）设计直径 D (mm)	900	1100	1400	1900	2400
扩径率 II (D/d)	2.00~ 1.64	2.20~ 1.69	2.33~ 1.75	2.38~ 1.58	2.00~ 1.60
桩身设计截面面积 A (m ²)	0.159~ 0.237	0.196~ 0.332	0.283~ 0.502	0.502~ 1.130	1.130~ 1.766

续表 10

设备型号 参数	98-400 型	98-500 型	98-600 型	06-800 型	06-1000 型
承力盘设计截面面积 A_{pD} (m^2)	0.477~ 0.398	0.754~ 0.618	1.256~ 1.036	2.331~ 1.703	3.391~ 2.755
扩大率 A_{pD}/A	3.00~ 1.68	3.85~ 1.86	4.44~ 2.06	4.64~ 1.51	3.00~ 1.56

由表 10 可知三岔双向挤扩灌注桩的扩径率 I 为 1.70~2.58, 扩径率 II 为 1.58~2.38, 扩大率为 1.51~4.64。扩径率和扩大率的大小直接影响单桩总极限盘端阻力和单桩竖向抗压极限承载力的大小。因此, 合理地选择三岔双向挤扩灌注桩的尺寸参数也是很重要的。

需要说明的是, 本规程表 C 中三岔双缸双向液压挤扩装置主要技术参数表是根据现行设备型号汇编而成。今后根据实际工程需要, 设备型号将会增加和变动。

附录 D 承力盘腔直径检测器

D.0.1 表 11 为承力盘腔直径与落差关系举例。

表 11 承力盘腔直径与落差关系表
(以 98-600 型挤扩设备使用举例)

落差 (mm)	盘径 (mm)	落差 (mm)	盘径 (mm)
300	1180	600	1440
350	1220	650	1480
400	1280	700	1500
450	1320	750	1540
500	1380	800	1580
550	1400	850	1620

注：表中承力盘腔直径与落差的关系值在使用前应检查测定，才能保证量测准确。

附录 E 三岔双向挤扩灌注桩主要参数

计算承力盘和承力岔的工程量时应按表 E 中承力盘和承力岔的公称体积 V_{Bg} 和 V_{bg} 取值。

承力盘公称体积 V_{Bg} 可按下列式计算：

$$V_{Bg} = 2 \cdot \frac{\pi}{3} \left(\frac{h-c}{2} \right) \left(\frac{D_g^2 + d^2 + D_g d}{4} \right) + \frac{\pi}{4} D_g^2 \cdot c - \frac{\pi}{4} d^2 h$$

简化后，可得：

$$V_{Bg} = 0.785 [0.333 (h-c) (D_g^2 + d^2 + D_g d) + D_g^2 c - d^2 h] \quad (13)$$

承力岔公称体积 V_{bg} 可按下列式计算：

$$V_{bg} = 3 \left(c \cdot a \cdot b + a \cdot \frac{h-c}{2} \cdot b \right)$$

简化后，可得：

$$V_{bg} = 0.75b(D_g - d)(h + c) \quad (14)$$

式中 V_{Bg} ——承力盘公称体积；

V_{bg} ——承力岔公称体积；

h ——承力盘高度；

c ——承力盘外沿高度；

D_g ——承力盘公称直径；

d ——桩身设计直径。

附录 F 单桩竖向抗压静载试验

F.1 一般规定

F.1.1 单桩抗压静载试验是公认的检测基桩竖向抗压承载力最直观、最可靠的传统方法。本规程对惯用的维持荷载法作出技术规定。

F.1.2 对于三岔双向挤扩灌注桩的内力测试,可测定分层侧阻力、盘端阻力、岔端阻力和桩端阻力或桩身截面的位移量。

F.1.3 本条明确规定为设计提供依据的静载试验宜加载至破坏,即试验应进行到能判定单桩极限承载力为止。

F.1.4 本条规定的目的在于要保证工程桩有足够的安全储备。

F.2 仪器设备及其安装

F.2.1 三岔双向挤扩灌注桩的试桩、锚桩(或压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2003 表 4.2.5 的规定外,本条规定三岔双向挤扩灌注桩的试桩与锚桩的中心距不应小于 2 倍承力盘设计直径。

F.3 现场检测

F.3.1 本条是为使试桩具有代表性而提出的。

F.3.3 本条是为保证静载试验能顺利进行而提出的。

F.3.6 本条第 1 款规定三岔双向挤扩灌注桩总沉降量超过承力盘设计直径的 5%可终止加载,是根据三岔双向挤扩灌注桩承载特性并经大量试桩的数据分析得出的。

F.5 单桩竖向抗压极限承载力(Q_u)的确定

F.5.1~F.5.3 规程编制组对近 200 根三岔双向挤扩灌注桩的

竖向抗压静载试验的分析结果表明,对于呈缓变型 $Q-s$ 曲线的三岔双向挤扩灌注桩,其抗压极限承载力可按 $s-\lg Q$ 曲线的末段直线段的起始点法、 $Q-s$ 曲线第二拐点法、 $s-\lg t$ 曲线尾部明显弯折法和 $Q_{0.05D}$ 法(即桩顶沉降量等于承力盘直径 5% 时所对应的荷载)综合判定;对于呈陡降型 $Q-s$ 曲线的三岔双向挤扩灌注桩,其抗压极限承载力可按 $Q-s$ 曲线明显陡降的起始点法、 $s-\lg Q$ 曲线末段近乎竖向陡降的起始点法和 $s-\lg t$ 曲线尾部明显转折法,综合判定。

第 F.5.1~F.5.3 条的规定是基于上述结果得出的。

F.5.5 按上述方法判定抗压极限承载力有困难时,可结合其他辅助分析方法(如百分率法、逆斜率法及波兰玛珠基维奇法等)综合判定。

F.5.7 为现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2003 第 4.4.4 条的强制性规定。

附录 G 三岔双向挤扩灌注桩的极限侧阻力标准值、极限盘端阻力标准值和极限桩端阻力标准值

G.0.1 本条是关于三岔双向挤扩灌注桩的极限侧阻力标准值。

表 G.0.1 中数值适用于老沉积土；对于新近沉积土， q_{sik} 应按土的状态，降一级取值。

G.0.2 本条是关于三岔双向挤扩灌注桩的极限盘端阻力和极限桩端阻力标准值。

表 G.0.2 中数值适用于老沉积土；对于新近沉积土， q_{bik} 、 q_{bk} 和 q_{pk} 应按土的状态，降一级取值。

工程实践表明，多数承力盘均设置在 $10\sim 30\text{m}$ 的土层中，故本表增设 $15\leq l<20$ 、 $20\leq l<25$ 和 $25\leq l<30$ 三个档次，便于设计选择应用。

需要说明的是，本附录关于上述土类的划分是按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 第 3.3.1 条的规定，即“晚更新世 Q_3 及其以前沉积的土，应定为老沉积土；第四纪全新世中近期沉积的土，应定为新近沉积土”。就北京地区的土质而言，老沉积土的土质比较均匀，压缩性较低，强度较高，层次分布比较有规律；新近沉积土的工程性能明显不如老沉积土，强度较低，黏性土的结构性较差，压缩性较高，砂类土的密度较差，层次分布的规律通常比较凌乱。《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ 01-501-92 表 6.3.2-1 和表 6.3.2-2 分别为老沉积土和新近沉积土的地基承载力标准值 f_{ka} 取值表，表中显示在相同的压缩模量 E_s 的情况下，后者的 f_{ka} 要比前者的 f_{ka} 低 $14\%\sim 25\%$ 。

考虑到干作业成孔的三岔双向挤扩灌注桩基工程不多，表

G.0.1 和表 G.0.2 中的值未区分干作业成孔和泥浆护壁成孔，统一按泥浆护壁成孔取值，这样对于干作业成孔的三岔双向挤扩灌注桩更偏于安全，待今后积累更多的干作业成孔三岔双向挤扩灌注桩试验资料后，在进行本规程修订时再适当调整取值范围。