

中华人民共和国行业标准

JTJ 248—2001

港口工程灌注桩设计与施工规程

Design and Construction Technical Standard
for Cast in-Situ Pile of Harbour Engineering

2001 - 12 - 25 发布

2002 - 05 - 01 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

港口工程灌注桩设计与施工规程

JTJ 248—2001

主编单位:中港第二航务工程局

批准部门:中华人民共和国交通部

施行日期:2002年5月1日

关于发布《港口工程灌注桩设计与施工规程》(JTJ 248—2001)的通知

交水发[2001]774号

各省、自治区、直辖市交通厅(局、委),长江、珠江航务管理局及有关企事业单位:

由我部组织中港第二航务工程局等单位制定的《港口工程灌注桩设计与施工规程》,已经审查通过,现批准为强制性行业标准,编号为 JTJ 248—2001,自 2002 年 5 月 1 日起施行。

本规程由交通部水运司负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

中华人民共和国交通部
二〇〇一年十二月二十五日

制定说明

本规程根据交通部交基发[1997]824号文“关于下达1997年度水运工程建设标准编制计划的通知”的要求,经过广泛征求意见、反复修改编制而成。主要包括灌注桩设计与施工的基本规定、承载力计算、结构设计、灌注桩施工和施工检测及质量控制等技术内容。

本规程的主编单位为中港第二航务工程局,参加单位为重庆交通学院、浙江省交通规划设计院和武汉港湾工程设计研究院。

随着科学技术的进步和水运工程建设事业的发展,灌注桩在港口工程建设中已得到广泛的应用。本规程在编制过程中,按现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158)的有关规定,采用了分项系数法,并在总结我国港口工程灌注桩设计与施工经验、借鉴国内外有关标准的基础上,结合我国港口工程的实际情况,对灌注桩设计与施工的技术要求作出了规定。

本规程必须与现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215)、《港口工程桩基规范》(JTJ254)、《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)和《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)等配套使用。

本规程共分7章11节和7个附录,为便于使用、正确理解和掌握本规程条文,在制定条文的同时,编写了条文说明。本规程编写人员分工如下:

- 1 总则:周开国
- 2 符号:周开国 李振宽
- 3 基本规定:李振宽 龙健若
- 4 承载力:龙健若 李振宽 欧阳仲春 刘景瑚

5 结构设计:李振宽 魏德彬

6 灌注桩施工:汪德隆 周开国 杨昌维 李荣华

7 施工检测及质量控制:周开国 汪德隆 邓新安 徐 进

附录 A、附录 B:李振宽 龙健若

附录 C~附录 F:汪德隆

附录 G:杨昌维

本规程于 2001 年 8 月 31 日通过部审,于 2001 年 12 月 25 日发布,自 2002 年 5 月 1 日起实施。

本规程由交通部水运司负责管理和解释。请各有关单位在使用过程中,将发现的问题和意见及时函告交通部水运司和本规程管理组,以便今后修订时参考。

目 次

1 总则	(1)
2 符号	(2)
3 基本规定	(5)
4 承载力	(7)
4.1 一般规定	(7)
4.2 垂直承载力计算	(8)
4.3 水平力作用下桩的计算	(11)
4.4 桩身承载力计算和最大裂缝宽度验算	(16)
5 结构设计	(19)
5.1 桩的构造	(19)
5.2 桩与上部结构的连接	(20)
6 灌注桩施工	(21)
6.1 施工准备	(21)
6.2 钻孔成孔	(22)
6.3 挖孔成孔	(26)
6.4 钢筋笼	(27)
6.5 混凝土浇筑	(27)
7 施工检测及质量控制	(29)
附录 A 地基容许承载力及深度修正系数	(31)
附录 B 灌注桩最大裂缝宽度验算	(34)
附录 C 泥浆性能指标	(37)
附录 D 泥浆原料粘土、膨润土和外加剂的性能要求	(38)
附录 E 泥浆性能指标测定方法	(41)
附录 F 常用成孔设备适用范围	(43)

附录 G 本规程用词用语说明	(45)
附加说明 本规程主编单位、参加单位、主要起草人、总校 人员和管理组人员名单	(46)
附 条文说明	(49)

1 总 则

1.0.1 为统一港口工程灌注桩设计与施工的技术要求,做到技术先进、经济合理、安全适用和有效控制质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于港口工程非嵌岩灌注桩的设计、施工、检测和质量控制。修造船工程和通航工程可参照执行。嵌岩灌注桩设计与施工应按现行行业标准《港口工程嵌岩桩设计与施工规程》(JTJ285)的有关规定执行。

1.0.3 本规程应与现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215)、《港口工程桩基规范》(JTJ254)、《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)和《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)等配套使用。

1.0.4 港口工程灌注桩设计与施工,除应符合本规程外,尚应符合国家现行标准的有关规定。

2 符 号

- 2.0.1 A ——桩身截面面积。
- 2.0.2 A_s ——钢筋截面面积。
- 2.0.3 b_0 ——桩的换算宽度。
- 2.0.4 C_u ——土的不排水抗剪强度标准值。
- 2.0.5 d ——桩的设计直径。
- 2.0.6 d_s ——钢筋直径。
- 2.0.7 d_0 ——桩身纵向钢筋中心所在圆的直径。
- 2.0.8 E_c ——混凝土的弹性模量。
- 2.0.9 E_p ——桩的弹性模量。
- 2.0.10 E_0 ——土的压缩模量。
- 2.0.11 E_s ——钢筋弹性模量。
- 2.0.12 G ——桩重力。
- 2.0.13 H ——作用于桩顶的水平力。
- 2.0.14 H_0 ——作用于桩的泥面处的水平力。
- 2.0.15 \bar{h} ——换算深度系数。
- 2.0.16 I_0 ——桩身换算截面惯性矩。
- 2.0.17 I_p ——桩的截面惯性矩。
- 2.0.18 K ——桩的有效长度系数。
- 2.0.19 k_2 ——地基容许承载力深度修正系数。
- 2.0.20 L ——桩身长度。
- 2.0.21 L_i ——桩身穿过第 i 层土的长度。
- 2.0.22 L_0 ——桩在泥面以上的自由长度。
- 2.0.23 L_p ——桩的压屈计算长度。
- 2.0.24 L_t ——桩的入土深度。

- 2.0.25 M ——作用于桩顶的力矩。
- 2.0.26 m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增加的比例系数。
- 2.0.27 m_0 ——清底系数。
- 2.0.28 M_0 ——作用于桩的泥面处的力矩。
- 2.0.29 M_{\max} ——桩身最大弯矩。
- 2.0.30 Q ——作用在桩顶的垂直荷载。
- 2.0.31 Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值。
- 2.0.32 q_{fi} ——单桩第 i 层土的极限侧摩阻力标准值。
- 2.0.33 $[q_0]$ ——地基容许承载力。
- 2.0.34 q_R ——单桩极限端阻力标准值。
- 2.0.35 S ——桩与桩的中心距。
- 2.0.36 T ——桩的相对刚度系数。
- 2.0.37 T_d ——单桩抗拔极限承载力设计值。
- 2.0.38 t ——桩的受弯嵌固点距泥面深度。
- 2.0.39 t' ——桩在泥面以下至假定嵌固点的埋置深度。
- 2.0.40 U ——桩身截面周长。
- 2.0.41 Y_0 ——桩在泥面处的水平变位。
- 2.0.42 $[Y_0]$ ——桩在泥面处的水平变位限值。
- 2.0.43 W_{\max} ——最大裂缝宽度。
- 2.0.44 $[W_{\max}]$ ——最大裂缝宽度限值。
- 2.0.45 W_0 ——桩身换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩。
- 2.0.46 Z_m ——泥面距桩身最大弯矩点的深度。
- 2.0.47 α ——桩的变形系数。
- 2.0.48 α_0 ——桩轴线与垂线的夹角。
- 2.0.49 α_E ——桩身钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值。
- 2.0.50 γ ——土的重度。
- 2.0.51 γ_2 ——桩端以上土的天然重度。
- 2.0.52 γ_0 ——结构重要性系数。
- 2.0.53 γ_R ——单桩承载力分项系数。

- 2.0.54 ϵ_i ——折减系数。
- 2.0.55 η ——系数。
- 2.0.56 λ ——修正系数。
- 2.0.57 ρ ——桩身截面配筋率。
- 2.0.58 Φ ——桩的稳定系数。
- 2.0.59 φ ——土的内摩擦角。

3 基本规定

3.0.1 港口工程在下列情况下宜采用灌注桩：

(1)地质条件复杂、岩面起伏较大或地下障碍物较多，打入式桩难以下沉时；

(2)单桩荷载较大，采用打入式桩不经济时；

(3)岸坡稳定性不足或附近有重要建筑物，不宜锤击沉桩时；

(4)施工条件限制，桩数较少、水域狭窄或水深不足，不宜使用大型水上沉桩设备时。

3.0.2 在高桩码头同一排架中，可采用灌注桩与其他类型的桩组合。

3.0.3 港口工程灌注桩按成孔方法可分为钻孔灌注桩和挖孔灌注桩。灌注桩宜采用直桩，有条件时也可采用斜桩。

3.0.4 桩的承载力应根据不同受力情况，分别按桩身承载力和地基土对桩的承载力进行计算，并取其小值。

3.0.5 对实际有可能同时在桩身出现的作用，应按桩的承载能力极限状态和正常使用极限状态，并按相应的设计状况进行作用效应组合。

3.0.6 桩在下列情况下应按承载能力极限状态设计：

(1)根据桩的受力情况进行桩的垂直承载力和水平力计算；

(2)在桩端平面以下存在软弱下卧层时，验算软弱下卧层的承载力；

(3)桩身受压、受弯、受拉或受扭承载力计算；

(4)桩的自由长度较大时，计算桩的压屈稳定。

3.0.7 桩在下列情况下应按正常使用极限状态设计：

(1)限制桩身裂缝宽度；

(2)桩的水平变位。

3.0.8 灌注桩基础设计应满足建筑物对沉降和水平变位的要求。

3.0.9 应严格控制灌注桩的混凝土质量,并需采取可靠的检测手段对桩身混凝土完整性进行评价。

3.0.10 水上施工平台应进行强度和稳定性验算,必须能够承受各种施工荷载,并具有防台、防汛和防漂浮物撞击的能力。

3.0.11 必要时可采用桩底或桩侧压力灌浆技术,提高桩的承载能力。

3.0.12 灌注桩设计与施工应具备下列基本资料:

(1)使用要求;

(2)水文、气象、地形、环境和水深资料;

(3)地质资料和工程地质评价,其勘察要点按现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ254)的附录 A 确定;

(4)有碍灌注桩施工的障碍物探测资料;

(5)有关防台、防汛和环保的规定;

(6)主要施工机具设备资料等。

3.0.13 重要工程或工程的重要部位采用灌注桩,当附近无类似试桩资料时,宜在本工程中进行载荷试验。

4 承载力

4.1 一般规定

4.1.1 在桩基中,桩与桩的中心距不小于6倍桩径,或中心距为3~6倍桩径且桩端进入良好持力层时的垂直承载桩,可按单桩设计;沿水平力方向桩与桩的中心距不小于6~8倍桩径的水平承载桩,也可按单桩设计。其他情况可按群桩设计。

4.1.2 桩身最小设计直径,钻孔桩不宜小于600mm;挖孔桩不宜小于1000mm。

4.1.3 桩的中心距不宜小于2.5倍桩的设计直径。

4.1.4 桩端持力层,宜选择中等密实或密实砂层、硬粘土层、碎石类土层或风化岩层等良好土层。

4.1.5 桩端进入持力层的最小深度应符合下列规定。

4.1.5.1 硬粘性土层,不宜小于2.0倍桩径。

4.1.5.2 中等密实或密实砂层,不宜小于1.5倍桩径。

4.1.5.3 碎石类土层,不宜小于1.0倍桩径。

4.1.5.4 强风化岩层,根据其力学性能,可取1.0~2.0倍桩径;中、微风化岩层,不宜小于0.5m,进入岩层的深度应从桩端岩面最低处起算。

4.1.6 当桩端以下4倍桩径范围内存在软弱土层时,应验算桩端土层冲剪破坏的可能性。

4.1.7 同一结构分段中的桩宜进入同一持力层,且桩端标高不宜相差过大。

4.2 垂直承载力计算

4.2.1 单桩垂直承载力计算应满足下式要求:

$$\gamma_0 Q \leq Q_d \quad (4.2.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,取 1.0;

Q ——作用于桩顶的垂直荷载(kN),当采用经验参数法计算 Q_d 时, Q 应计入桩重力,泥面线以上取桩重力的 100%,泥面线以下取桩重力的 50%,水下部分取浮重力;当由试桩结果求得 Q_d 时, Q 可不计入桩重力;

Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值(kN)。

4.2.2 单桩垂直极限承载力设计值可采用经验参数法按下式计算:

$$Q_d = (U \sum q_{fi} L_i + q_R A) / \gamma_R \quad (4.2.2-1)$$

$$q_R = 2m_0 \lambda \{ [q_0] + k_2 \gamma_2 (L_1 - 3) \} \quad (4.2.2-2)$$

式中 Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值(kN);

U ——桩身截面周长(m);

q_{fi} ——单桩第 i 层土的极限侧摩阻力标准值(kPa),无当地经验值时,可按表 4.2.2-1 取值;

L_i ——桩身穿过第 i 层土的长度(m);

q_R ——单桩极限端阻力标准值(kPa);

A ——桩身截面面积(m^2);

γ_R ——单桩垂直承载力分项系数,根据工程具体情况分析确定,当无试桩资料时,可取 1.60 ~ 1.65,当有试桩资料时,可取 1.60;

m_0 ——清底系数,挖孔灌注桩取 1.0;钻孔灌注桩取 0.65 ~ 0.90,沉渣厚度小取大值,反之取小值,且沉渣厚度不得大于 300mm;

λ ——修正系数,根据表 4.2.2-2 选取;

$[q_0]$ ——地基容许承载力(kPa),按附录 A 中表 A.0.1-1 至表 A.0.1-6 采用;

k_2 ——地基容许承载力深度修正系数,根据桩端持力层土的类别按附录 A 中表 A.0.2 选用;

γ_2 ——桩端以上土的天然重度(kN/m^3),当土层多于两层时应取加权平均值;

L_1 ——桩的入土深度(m),自冲刷线起算,当 L_1 大于 40m 时,按 40m 计算。

钻孔灌注桩周土的极限侧摩阻力标准值 q_s 表 4.2.2-1

土 类	极限侧摩阻力标准值 $q_s(\text{kPa})$
回填的中密炉渣、粉煤灰	40 ~ 60
流塑粘土、亚粘土、亚砂土	20 ~ 30
软塑粘土	30 ~ 50
硬塑粘土	50 ~ 80
硬粘土	80 ~ 120
软塑亚粘土、亚砂土	35 ~ 55
硬塑亚粘土、亚砂土	55 ~ 85
粉砂、细砂	35 ~ 55
中砂	40 ~ 60
粗砂、砾砂	60 ~ 140
圆砾、角砾	120 ~ 180
碎石、卵石	160 ~ 400

注:①土层中粒径为 300 ~ 400mm 的漂石、块石,含量占 40% ~ 50% 时, q_s 可取 600kPa;

②砂土可根据密实度选用其大值或小值;

③圆砾、角砾、碎石和卵石可根据密实度和填充料选用其大值或小值;

④钻孔灌注桩的极限摩阻力标准值可参照本表采用。

修正系数 λ

表 4.2.2-2

桩端土情况 \ L_i/d	4~20	20~25	>25
透水性土	0.70	0.70~0.85	0.85
不透水性土	0.65	0.65~0.72	0.72

注：表中 d 为桩的设计直径(m)。

4.2.3 根据式(4.2.2-1)计算的单桩垂直极限承载力设计值,必要时还应进行载荷试验验证。载荷试验可采用静载荷试验法或高应变动力检测法,也可采用其他新型试桩法。验证性试验可在工程桩上进行。

4.2.4 单桩垂直极限承载力设计值应满足第 4.4 节桩身承载力计算的要求。

4.2.5 单桩抗拔极限承载力设计值可按式计算:

$$T_d = (U \sum \epsilon_i q_{fi} L_i + G \cos \alpha_0) / \gamma_R \quad (4.2.5)$$

式中 T_d ——单桩抗拔极限承载力设计值(kN);

U ——桩身截面周长(m);

ϵ_i ——折减系数,粘性土取 0.7~0.8,砂土取 0.5~0.6,桩的入土深度大时取大值,反之取小值;

q_{fi} ——单桩第 i 层土的极限侧摩阻力标准值(kPa),可按表 4.2.2-1 取值;

L_i ——桩身穿过第 i 层土的长度(m);

G ——桩重力(kN),水下部分按浮重力计;

α_0 ——桩轴线与垂线的夹角(°);

γ_R ——单桩抗拔承载力分项系数,取 1.65。

4.2.6 当桩周土体因下列因素而产生的竖向变形大于桩的沉降时,应考虑桩侧负摩擦力的作用:

(1) 桩身穿过人工填土和在自重作用下尚未固结的软土等近沉积的土层时;

(2) 桩周土体承受大面积堆载时;

(3)其他因素引起桩入土范围内土层产生压缩时。

4.2.7 按群桩设计的灌注桩,其单桩垂直极限承载力设计值,尚应考虑群桩效应影响,其群桩折减系数应按现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ254)的有关规定执行。

4.3 水平力作用下桩的计算

4.3.1 承受水平力和力矩的灌注桩,其入土深度宜满足下列弹性长桩条件:

$$L_t \geq 4T \quad (4.3.1-1)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_P I_P}{mb_0}} \quad (4.3.1-2)$$

$$E_P I_P = 0.85 E_c I_0 \quad (4.3.1-3)$$

$$I_0 = W_0 d/2 \quad (4.3.1-4)$$

$$W_0 = \pi d [d^2 + 2(\alpha_E - 1)\rho d_0^2]/32 \quad (4.3.1-5)$$

式中 L_t ——桩的入土深度(m);
 T ——桩的相对刚度系数(m);
 E_P ——桩的弹性模量(kN/m²);
 I_P ——桩的截面惯性矩(m⁴);
 m ——桩侧地基土水平抗力系数随深度增加的比例系数(kN/m⁴);当无试桩资料时,可按表4.3.1取值;
 b_0 ——桩的换算宽度(m),取 $2d$;
 E_c ——混凝土的弹性模量(kN/m²);
 I_0 ——桩身换算截面惯性矩(m⁴);
 W_0 ——桩身换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩(m³);
 d ——桩的设计直径(m);
 α_E ——桩身钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值;
 ρ ——桩身截面配筋率(%);
 d_0 ——桩身纵向钢筋中心所在圆的直径(m)。

土的 m 值

表 4.3.1

序号	土 的 名 称	m (kN/m ⁴)
1	流塑粘土 $I_L \geq 1.0$, 淤泥	3000 ~ 5000
2	软塑粘土 $1.0 > I_L \geq 0.5$, 粉砂	5000 ~ 10000
3	硬塑粘土 $0.5 > I_L \geq 0$, 细砂, 中砂	10000 ~ 20000
4	坚硬, 半坚硬粘土 $I_L < 0$, 粗砂	20000 ~ 30000
5	砾砂, 角砾, 圆砾, 碎石, 卵石	30000 ~ 80000
6	密实卵石夹粗砂, 密实漂卵石	80000 ~ 120000

注: ①本表用于桩身在地面处的水平位移最大值不超过 6mm, 位移较大时, m 值应适当降低;

②当桩侧为几种不同土层时, 应将地面或局部冲刷线以下 $h_m = 2(d+1)m$ 深度内土层的 m 值求加权平均值作为计算值;

③当桩基侧面设有斜坡或台阶, 且其坡度或台阶总宽与总深之比超过 1:20 时, 表中 m 值应减少 50%。

4.3.2 承受水平力和力矩作用的灌注桩在泥面以下的桩身内力和变形, 可采用 m 法计算; 条件具备时也可采用 $P-Y$ 曲线法计算。采用 m 法计算时, 应符合下列规定。

4.3.2.1 对部分埋置土中的单桩, 桩身变形和内力应按现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ254) 的有关规定计算, 也可按下列简化公式计算:

(1) 桩在泥面处的水平变位 Y_0 :

桩顶转动自由、平动自由时, 见图 4.3.2 (a):

$$Y_0 = \frac{1 + 0.67\alpha L_0}{0.41\alpha^3 E_p I_p} H \quad (4.3.2-1)$$

$$\alpha = 1/T \quad (4.3.2-2)$$

桩顶转动固定、平动自由时, 见图 4.3.2 (b):

$$Y_0 = \frac{1 + 0.67(1 - \xi)\alpha L_0}{0.41\alpha^3 E_p I_p} H \quad (4.3.2-3)$$

$$\xi = \left| \frac{M}{HL_0} \right| \quad (4.3.2-4)$$

式中 Y_0 ——桩在泥面处的水平变位(m);

α ——桩的变形系数(m^{-1});

L_0 ——桩在泥面以上的自由长度(m);

E_p ——桩的弹性模量(kN/m^2);

I_p ——桩的截面惯性矩(m^4);

H ——作用于桩顶的水平力(kN);

T ——桩的相对刚度系数(m);

ξ ——系数;

M ——作用于桩顶的力矩($\text{kN}\cdot\text{m}$)。

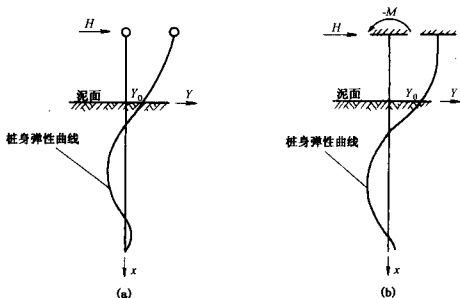


图 4.3.2 弹性长桩工作示意图

(a) 桩顶转动自由、平动自由时; (b) 桩顶转动固定、平动自由时

(2) 泥面距桩身最大弯矩点的深度 Z_m :

$$Z_m = \bar{h}T \quad (4.3.2-5)$$

式中 Z_m ——泥面距桩身最大弯矩点的深度(m);

\bar{h} ——换算深度系数, 当桩顶转动自由、平动自由时, 根据

$C_1 = \alpha L_0$ 或 $D_1 = \frac{1}{\alpha h_0}$ 按表 4.3.2 查得; 当桩顶转动

固定、平动自由时, 根据 $C_1 = (1 - \xi) \alpha L_0$ 或 $D_1 =$

$\frac{1}{(1 - \xi) \alpha L_0}$ 按表 4.3.2 查得, 其中 C_1 、 D_1 为无量纲

系数;

T ——桩的相对刚度系数(m)。

(3)桩身最大弯矩 M_{\max} :

当桩顶转动自由、平动自由时:

$$M_{\max} = HL_0 C_2 \quad (4.3.2-6)$$

或

$$M_{\max} = HTD_2 \quad (4.3.2-7)$$

当桩顶转动固定、平动自由时:

$$M_{\max} = HL_0(1 - \xi) C_2 \quad (4.3.2-8)$$

或

$$M_{\max} = HTD_2 \quad (4.3.2-9)$$

式中 C_2 、 D_2 ——无量纲系数,根据 \bar{h} 值由表 4.3.2 查得。

m 法简化计算无量纲系数表

表 4.3.2

换算深度系数 $\bar{h} = Z/T$	C_1	D_1	C_2	D_2
0.0	∞	0	1	∞
0.1	131.252	0.008	1.001	131.318
0.2	34.186	0.029	1.004	34.317
0.3	15.544	0.064	1.012	15.738
0.4	8.781	0.114	1.029	9.037
0.5	5.539	0.181	1.057	5.856
0.6	3.710	0.270	1.101	4.138
0.7	2.566	0.390	1.169	2.999
0.8	1.791	0.558	1.274	2.282
0.9	1.238	0.808	1.441	1.784
1.0	0.824	1.213	1.728	1.424
1.1	0.503	1.988	2.299	1.157

续表 4.3.2

换算深度系数 $\bar{h} = Z/T$	C_1	D_1	C_2	D_2
1.2	0.246	4.071	3.876	0.952
1.3	0.034	29.58	23.438	0.792
1.4	-0.145	-6.906	-4.596	0.666
1.6	-0.434	-2.305	-1.128	0.480
1.8	-0.665	-1.503	-0.530	0.353
2.0	-0.865	-1.156	-0.304	0.263
3.0	-1.893	-0.528	-0.026	0.049
4.0	-0.045	-22.500	0.011	0

注:①本表适用于桩端置于非岩石土中或支立于岩石面上的弹性长桩;

② Z ——桩身截面距泥面的深度;

③ T ——桩的相对刚度系数。

(4)设计中应由水平力标准值产生的桩身最大弯矩,乘以综合作用分项系数 1.4 作为最大弯矩设计值,水平力应计入土抗力。

4.3.2.2 对承受水平荷载的全直桩群桩,在非往复水平力作用下,当采用 m 法时,可采用折减后的 m 值按单桩设计。 m 值的折减系数,桩距不大于 3 倍桩径时,取 0.25;桩距不小于 6~8 倍桩径时取 1.0;桩距大于 3 倍桩径且小于 6~8 倍桩径时,可采用线性插入法取值。

4.3.3 当采用假想嵌固点法计算上部结构时,弹性长桩的受弯嵌固点深度,可按下式确定:

$$t = \eta T' \quad (4.3.3)$$

式中 t ——桩的受弯嵌固点距泥面深度(m);

η ——系数,取 1.8~2.2,桩顶铰接或桩的自由长度较大时取小值,桩顶转角无转动或桩的自由长度较小时取大

值;

T ——桩的相对刚度系数,按式(4.3.1-2)计算。

4.3.4 弹性长桩在泥面处的水平变位验算应满足下列条件:

$$Y_0 \leq [Y_0] \quad (4.3.4)$$

式中 Y_0 ——桩在泥面处的水平变位(mm);

$[Y_0]$ ——桩在泥面处的水平变位限值(mm),应根据上部结构可接受的水平变位或工程使用经验来确定;当采用m法计算时,宜采用6mm。

4.4 桩身承载力计算和最大裂缝宽度验算

4.4.1 桩身承载力计算,应符合现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)和《水运工程抗震设计规范》(JTJ225)的有关规定。

4.4.2 计算桩在轴心受压荷载和偏心受压荷载作用下的桩身承载力时,应将混凝土的轴心抗压强度设计值和弯曲抗压强度设计值分别乘以施工工艺系数。施工工艺系数,钻孔灌注桩宜取0.8,挖孔灌注桩宜取0.9。

4.4.3 高桩承台桩的压屈计算应假定桩在泥面以下一定深度处为嵌固支承。桩的压屈计算长度和桩的压屈稳定系数可采用下列方法确定。

4.4.3.1 桩的压屈计算长度可按下式计算:

$$L_p = K(L_0 + t') \quad (4.4.3)$$

式中 L_p ——桩的压屈计算长度(m);

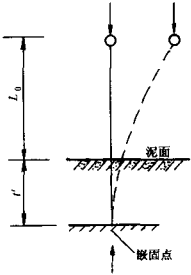
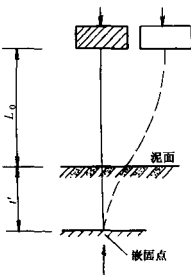
K ——桩的有效长度系数,应根据桩端部的约束条件按表4.4.3-1采用;

L_0 ——桩在泥面以上的自由长度(m);

t' ——桩在泥面以下至假定嵌固点的埋置深度(m),对正常固结粘土和砂土,并假定地基土水平抗力系数随深度线性增加,可取 $1.8T$, T 为桩的相对刚度系数。

桩的有效长度系数 K

表 4.4.3-1

桩的压屈形状		
	一端转动自由、平动自由 一端转动固定、平动固定	一端转动固定、平动自由 一端转动固定、平动固定
K	2.1	1.2

4.4.3.2 桩的压屈稳定系数 ϕ 可根据桩的压屈计算长度 L_p 和桩的设计直径 d 按表 4.4.3-2 取值。

桩的稳定系数 ϕ

表 4.4.3-2

L_p/d	≤ 7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5
ϕ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60
L_p/d	24	26	28	29.5	31	33	34.5	36.5	38	40
ϕ	0.56	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23

4.4.4 当进行桩身承载力的抗震验算时,应根据现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ225)的有关规定,选取抗震调整系数。

4.4.5 当有适当的措施足以保证灌注桩的钢护筒能够与混凝土

桩共同作用时,桩的截面抗力计算方可计入钢护筒的作用。

4.4.6 灌注桩使用阶段需要控制裂缝宽度时,应验算荷载的长期效应组合下桩身最大裂缝宽度。最大裂缝宽度应满足下式要求:

$$W_{\max} \leq [W_{\max}] \quad (4.4.6)$$

式中 W_{\max} ——最大裂缝宽度(mm),验算方法见附录 B;

$[W_{\max}]$ ——最大裂缝宽度限值(mm),按表 4.4.6 取值。

最大裂缝宽度限值 $[W_{\max}]$ (mm) 表 4.4.6

裂缝控制等级	淡水港			海水(含河口)港			
	水上区	水位变动区	水下区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
C 级	0.25	0.30	0.40	0.20	0.20	0.25	0.30

5 结构设计

5.1 桩的构造

5.1.1 桩身截面配筋率应根据计算确定,最小配筋率不得小于 0.4%。

5.1.2 桩身配筋长度应符合下列规定。

5.1.2.1 端承桩、抗拔桩和承受负摩擦力的桩应通长配筋。位于坡地或岸边的桩,当坡地或岸坡的地层存在软土层,或由于其他因素使岸坡稳定性不足时,宜通长配筋。

5.1.2.2 端承摩擦桩宜通长配筋,桩长较大时,也可根据内力大小沿深度分段变截面配筋。

5.1.2.3 受水平力作用的抗弯桩和偏心受压桩,地面以下的配筋长度不宜小于 4 倍桩的相对刚度系数。

5.1.3 桩的主筋应采用变形钢筋,数量不宜少于 12 根,直径不宜小于 16mm。采用束筋时,每束不宜多于 2 根钢筋。纵向钢筋应沿桩身周边均匀布置,其净距不应小于 80mm。钢筋笼底部主筋宜稍向内弯折。

5.1.4 箍筋直径不宜小于 8mm,箍筋间距宜为 200~300mm,应采用螺旋式箍筋;受水平力作用的桩,在承台底面以下 3~5 倍桩径范围内箍筋应加密。当钢筋笼长度超过 5m 时,应每隔 2.0~2.5m 设置一道加强箍筋;当钢筋笼长度超过 10m 时,应每隔 5.0~8.0m 在笼内设置一道焊接支撑架。

5.1.5 主筋的混凝土保护层厚度,河港不应小于 50mm;海港不应小于 70mm。

5.1.6 桩身混凝土强度等级不应低于 C25。

5.2 桩与上部结构的连接

5.2.1 桩帽或承台的构造要求应符合现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291)的有关规定。

5.2.2 桩与桩帽或承台的连接应符合下列规定。

5.2.2.1 桩嵌入桩帽或承台的长度不宜小于 100mm。

5.2.2.2 桩顶钢筋伸入桩帽或承台的长度,受压桩不宜小于 35 倍主筋直径,受拉桩不宜小于 40 倍主筋直径。

5.2.2.3 伸入桩帽或承台的桩顶钢筋宜做成喇叭形。

5.2.2.4 桩帽或承台的部分主筋宜通过桩顶与桩顶钢筋相交。

5.2.3 桩帽或承台边缘与边桩外侧的距离,对直径不大于 1000mm 的桩,不宜小于 0.5 倍桩径并不应小于 300mm;对直径大于 1000mm 的桩,不宜小于 0.4 倍桩径并不应小于 500mm。

5.2.4 当桩与上部结构横梁直接连接时,梁边与桩外侧的距离不宜小于 250mm。

6 灌注桩施工

6.1 施工准备

6.1.1 港口工程钻孔灌注桩施工平面布置、施工道路、施工栈桥、水上施工平台、泥浆系统、混凝土供应系统和水电供应系统应根据使用要求进行施工设计。

6.1.2 钻孔灌注桩施工测量应按现行行业标准《水运工程测量规范》(JTJ203)和《港口工程桩基规范》(JTJ254)的有关规定执行。

6.1.3 钻孔灌注桩水上施工平台可采用筑岛平台、支承桩平台、浮式平台和移动式自升平台等形式。

6.1.4 平台的设计应满足下列要求。

6.1.4.1 平台尺寸应能满足钻孔设备的布置、操作、移动和混凝土浇筑的要求,平台顶标高的确定应考虑施工期水位、潮位、波浪和钻孔工艺等因素。

6.1.4.2 平台应具有足够的稳定性,应能承受施工设备、材料和人员的荷载,并能承受水流力、波浪力、风力和施工船舶系靠力等荷载。

6.1.4.3 平台结构应考虑装拆方便和成桩后下一步工序的施工。

6.1.4.4 平台应具有安全生产设施,并设立航行警示标志。

6.1.5 当桩位处于浅水区且地层土质较好时,可采用筑岛平台。筑岛平台除应满足第 6.1.4 条要求外,尚应考虑筑岛对河道过水断面的影响。筑岛平台施工可采用下列方法。

6.1.5.1 当水深、流速较小时,可直接筑岛。在岛的迎水冲刷面,应采用土工织物、片石或袋装土护坡。

6.1.5.2 当水深、或流速较大时,可修筑围堰后筑岛。围堰材料可采用防冲性能较好的袋装土和块石等。围堰内坡应设倒滤层。

6.1.6 当桩位处于深水区时,可采用支承桩平台。支承桩平台除应满足第 6.1.4 条要求外,尚应符合下列规定。

6.1.6.1 当打入桩作支承桩时,桩的几何尺寸和入土深度应根据稳定性的要求计算确定。

6.1.6.2 利用钻孔护筒作支承桩时,护筒不得产生影响成孔的变位。

6.1.7 当桩位处于水流速度小且流态稳定、水位升降缓慢和风浪不大的水域时,可采用浮式平台。浮式平台应设可靠的锚碇系统。

6.1.8 当桩位处于风浪和潮差较大的水域时,可采用移动式自升平台。

6.1.9 钻孔灌注桩施工前应根据现场条件和施工难易程度,针对成孔过程中可能出现的问题,制定周密的应急措施,并作好材料、设备和工具等方面的准备。

6.2 钻 孔 成 孔

6.2.1 钻孔成孔施工应设置护筒。护筒的制作应符合下列规定。

6.2.1.1 护筒宜采用钢板焊接。钢护筒应具有一定的强度和刚度,壁厚应综合考虑下沉深度、护筒长度、直径、地质条件和下沉工艺等因素,并不宜小于 5mm。当需要穿过硬土层时,应在端部加强。

6.2.1.2 护筒内径应根据护筒长度、埋设的垂直度和钻机的性能等因素确定,并不宜大于设计桩径 300mm。

6.2.2 护筒的埋设方法应符合下列规定。

6.2.2.1 陆域或边滩护筒可采用开挖埋设,当地下水位较高和埋设深度较大时,也可采用打入法埋设。

6.2.2.2 水域护筒可采用振动下沉、锤击下沉或静压下沉等方法埋设,并应设立定位和导向设施,保证下沉精度。

6.2.3 护筒顶标高和埋深应符合下列规定。

6.2.3.1 陆域护筒顶标高应高出地下水位 1.5~2.0m,并高出地面 300mm 以上。护筒埋深不应小于 1.0~2.0m。对砂土,应将护筒周围 0.5~1.0m 范围内的砂土挖出,夯填粘性土至护筒底 0.5m 以下。

6.2.3.2 水域护筒的顶标高应高出施工期最高潮位或水位 1.5~2.0m,并应考虑波浪的影响。护筒埋深应综合考虑地质条件、护筒使用功能和稳定要求,通过计算比较确定。置入不透水层或较密实的砂卵石层的护筒长度不宜小于 1.0m。

6.2.3.3 当钻孔内有承压水时,护筒顶标高应高于稳定后的承压水位 1.5~2.0m。

6.2.3.4 当岩面无覆盖层或覆盖层较薄时,护筒埋设应符合现行行业标准《港口工程嵌岩桩设计与施工规程》(JTJ285)的有关规定。

6.2.4 除在岩石和全粘土层中成孔或采用全护筒护壁成孔外,成孔均应采用外加泥浆护壁。

6.2.5 护壁泥浆可由水、粘土或膨润土、添加剂组成,泥浆性能指标应符合附录 C 的规定。护壁泥浆材料及配制应符合下列规定。

6.2.5.1 泥浆原料粘土、膨润土和外加剂的性能要求应满足附录 D 的规定。

6.2.5.2 调制泥浆宜使用淡水。使用海水时,必须经过试验验证。

6.2.5.3 泥浆配制、循环和净化系统应根据泥浆需用量、再生方式和设备能力等确定。

6.2.5.4 在钻孔过程中,应检测泥浆性能指标,每工班检测不得少于一次。当土层变化时,应相应增加检测次数。泥浆性能指标的测定可采取附录 E 的方法。

6.2.5.5 泥浆的排放和处理必须符合环保的规定。

6.2.6 成孔设备可根据地质条件、设计孔径、孔深、水深和钻机距孔内泥浆面的高度等因素按附录 F 选取。

6.2.7 采用回转钻机时,钻头宜根据下列情况选用:

- (1)在粘性土中选用尖底鱼尾式钻头或圆笼式钻头;
- (2)在砂土中选用平底圆笼式钻头;
- (3)在较硬的碎石土中选用三翼钻头;
- (4)在岩层中选用牙轮钻头。

6.2.8 采用冲击钻机时,钻头宜选用十字型。对正、反循环排渣宜选用中空十字封闭型钻头,直径宜比孔径小 40~60mm。钻头的重量应根据成孔直径、深度和地层情况确定。

6.2.9 钻机的安装和操作应根据钻机类型、产品说明书和施工要求进行,并应符合下列规定。

6.2.9.1 钻机安装底座应平稳,在钻进过程中不应发生位移或沉陷。回转钻机顶部的起吊滑轮轮缘与转盘中心的连线应垂直,与孔位中心偏差不得大于 20mm。

6.2.9.2 回转钻机在钻进过程中,应保持足够的钻压力。成孔宜安装扶正器导向或采取重力导向、减压钻进等措施,保证成孔的垂直度。孔底承受的钻压不宜超过钻具重力的 80%。

6.2.9.3 冲击钻机成孔开孔时,应低锤密击,待钻孔到达一定深度后,方可正常冲击。成孔过程中,应根据土质的软硬程度,调整冲程,最大冲程不宜超过 4~6m,并应防止空锤。当冲击表面为倾斜岩面或有漂石时,应投入粘土夹小片石,将表面垫平后再冲击成孔。

6.2.9.4 钻进成孔过程中,孔内液面应高于孔外水位 1.5~2.0m。当孔内外水头变化较大时,应对孔内水位采取稳定措施。

6.2.9.5 钻孔应连续进行。当遇到特殊情况需停钻时,应提出钻头,并采取措施,保持孔壁稳定。

6.2.9.6 群桩同时钻孔时,相邻钻孔应保持一定间隔。当已浇注混凝土桩的强度未达到 5MPa 时,不应在相邻孔位进行钻孔。

6.2.10 成孔过程中,出现护筒变形、塌孔、偏斜、卡钻和掉钻等情况时,可采取下列补救措施。

6.2.10.1 护筒变形,宜根据变形程度回填块石至变形部位,用冲击锤反复冲击,或采取水下割除等方法校正,严重变形的护筒,

可拔出重打。

6.2.10.2 塌孔,宜采取下列措施:

(1)当塌孔不严重时,回填至塌孔位置以上,采取改善泥浆性能、加高水头、重钻等措施;

(2)护筒底口塌孔,采取跟进护筒、下内护筒等方法;

(3)当塌孔严重时,立即回填块石、砂土、袋装水泥,待回填物稳定后,改用冲击钻成孔。

6.2.10.3 灰岩地质的溶洞成孔,宜采用下列措施:

(1)在设计桩位处打先导地质孔,在钻孔前掌握溶洞的大小、走向、充填物性能和透水性能;

(2)当钻孔破除溶洞顶板时,采用回旋钻头加前导具方法。

6.2.10.4 钻孔漏浆,宜采取下列措施:

(1)跟进护筒或减小孔内外水头差、加稠泥浆和改善泥浆性能等;

(2)当采用冲击法成孔时,填入片石、碎卵石土、粘土,反复冲击。

6.2.10.5 孔身偏斜、弯曲,宜采取下列措施:

(1)提钻至偏斜处,反复扫孔;

(2)回填至偏斜处,重新钻孔。

6.2.10.6 卡钻和埋钻,宜采用冲、吸等方法,将钻头周围土松动后提钻,并应采取措施,保持孔壁稳定。

6.2.10.7 掉钻和落物,应立即打捞。

6.2.11 终孔后,应立即进行清孔。清孔方法可根据土层性质、沉渣厚度要求和机具设备条件分别选用掏渣筒清孔、换浆清孔、抽浆清孔或喷射清孔等方法。

6.2.12 斜桩成孔应符合下列规定。

6.2.12.1 应使用全护筒,护筒埋设应牢固,直径宜比设计桩径大 50mm,护筒上口宜呈喇叭状。

6.2.12.2 钻机应能按设计要求的倾斜度灵活调整机架,导向钻进。钻孔深度达 10m 时,应在钻杆上设置导向环,当深度增加

时,应相应增设导向环。

6.3 挖孔成孔

6.3.1 当具备下列条件时,可采用挖孔成孔:

- (1)设计桩径不小于 1000mm,孔深小于 40m;
- (2)土质为较密实的土或岩层;
- (3)土层中无地下水或无较大渗透水。

6.3.2 当孔内存在有害气体时,必须采取排气、换气措施,将有害气体的浓度降低到无害的程度,方可采用挖孔成孔。

6.3.3 除在硬粘土或完整岩层中成孔外,应对孔壁进行支护。支护可采用砖砌、分节组合钢护筒、现浇钢筋混凝土孔圈或喷射混凝土孔壁等形式。支护应符合下列规定。

6.3.3.1 支护内径不应小于设计桩径。

6.3.3.2 现浇钢筋混凝土支护,宜为下小上大斜阶形孔圈,混凝土强度等级不宜低于 C15,每段长度宜为 1000mm 左右,厚度不宜小于 100mm,两段搭接长度不宜小于 50mm,并用钢筋拉结。

6.3.3.3 摩擦桩的非永久性支护,应在混凝土浇注时逐步拆除。无法拆除的非永久性支护,除现浇钢筋混凝土和喷射混凝土护壁外,不得用于摩擦桩。

6.3.4 挖孔施工安全措施应符合下列规定:

- (1)操作平台牢固、稳定;
- (2)上下爬梯牢固、吊挂稳定;
- (3)用于从孔内出土的机具设备安全可靠;
- (4)采用机械通风措施;
- (5)使用安全照明灯;
- (6)孔内爆破执行爆破施工的有关安全操作规程;
- (7)暂停挖孔时,妥善遮盖孔口,并设立明显标志;
- (8)保持孔内外通讯畅通。

6.3.5 挖孔施工应符合下列规定:

- (1)逐段开挖,逐段支护;

- (2)采用排水设备及时排出渗透水;
- (3)出土堆于井孔 2.0m 以外;
- (4)对渗水量较大的潜水层承压水采取有效的止水措施。

6.3.6 当群桩净距小于 2 倍桩径且小于 2.5m 时,应采用间隔开挖。排架桩的最小施工净距不得小于 4.5m。

6.4 钢 筋 笼

6.4.1 钢筋笼制作除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)的有关规定外,尚应满足下列要求。

6.4.1.1 钢筋笼的制作宜在支架或台座上进行,根据运输、安装条件和能力可整体制作,也可分段制作。

6.4.1.2 在骨架上端,应根据骨架长度、直径,均匀设置吊环或固定吊杆。

6.4.1.3 在骨架主筋外侧,应在每隔 1.5~2.0m 的断面上对称设置控制保护层厚度的装置。

6.4.2 钢筋笼的安装应符合下列规定。

6.4.2.1 清孔后,钢筋笼应及时准确吊装就位,下放钢筋笼时应防止碰撞孔壁。当下放困难时,应查明原因,不得强行下放。

6.4.2.2 分段制作的钢筋笼可采用电焊连接或机械连接。同一断面接头数量不应大于钢筋笼主筋数量的 50%。

6.4.2.3 在斜桩孔中安装钢筋笼时,应采取可靠措施,保证钢筋笼准确就位。

6.4.2.4 钢筋笼安装就位后,应采取适当措施将其固定,混凝土浇注过程中钢筋笼不得上浮。

6.5 混凝土浇筑

6.5.1 钻孔灌注桩混凝土应采用导管法施工,挖孔灌注桩混凝土可采用干法施工或导管法施工。

6.5.2 灌注桩混凝土的原材料、配合比设计和施工应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)的有关规定。

6.5.3 干法施工挖孔灌注桩混凝土应满足下列要求。

6.5.3.1 浇筑混凝土前,应排干孔底积水;浇筑混凝土过程中,当可能产生地下水向孔内渗透时,应采取降低地下水措施。

6.5.3.2 混凝土宜振捣密实。对距桩顶 10m 以内的混凝土必须振捣密实。

6.5.4 当采用导管法浇筑钻孔灌注桩混凝土时,混凝土配制应符合下列规定。

6.5.4.1 不得采用立窑水泥,且水泥强度等级不应低于 42.5。

6.5.4.2 水泥用量不宜小于 $370\text{kg}/\text{m}^3$,水灰比不宜大于 0.6。

6.5.4.3 混凝土初凝时间不应小于完成该桩混凝土浇筑所需时间。

6.5.4.4 当混凝土中掺粉煤灰时,应符合现行行业标准《港口工程粉煤灰混凝土技术规程》(JTJ/T273)的有关规定。

6.5.5 采用导管法施工钻孔灌注桩混凝土时,应符合下列规定。

6.5.5.1 导管应用刚性导管,并宜采用快速套接接头。

6.5.5.2 导管使用前,应按实际使用节数和长度进行试拼,并进行压水试验,试验压力不应小于工作压力的 1.5 倍。

6.5.5.3 首批混凝土的埋管深度不得小于 1.0m。混凝土浇筑过程中,埋管深度宜为 2.0~6.0m。

6.5.5.4 在浇注混凝土过程中,应保持孔内液面高程。

6.5.5.5 孔内混凝土面的高度应及时测量,混凝土终灌标高的确定应能保证桩顶凿除后的混凝土质量。

6.5.6 单根灌注桩的混凝土应连续浇筑。当发生浇注中断时,接桩处理方案应征得设计单位同意。

6.5.7 浇注斜桩水下混凝土时,应采取措施,防止导管接头与钢筋笼相挂。

7 施工检测及质量控制

7.0.1 灌注桩成孔后应逐孔进行检测,检测内容包括孔位偏差、孔深、孔径、孔的垂直度、孔底沉渣厚度和浇筑混凝土前孔内泥浆的主要指标等,其质量控制应符合下列规定。

7.0.1.1 灌注桩成孔的孔位偏差可通过检测成孔后的护筒位置偏差确定。孔位允许偏差应符合表 7.0.1 的规定。

灌注桩孔位允许偏差 表 7.0.1

	单桩、边桩(mm)	群桩的中间桩(mm)
陆 上	50	100
内河和有掩护海域	100	150
无掩护河口和海域	200	300

7.0.1.2 成孔后的孔深,以摩擦力为主的桩,应达到设计标高;以端承力为主的桩,应比设计深度超深 50mm,当发现持力层与设计条件不符时,应由设计单位重新确定终孔标高。

7.0.1.3 灌注桩成孔后的孔径不得小于设计桩径,直桩成孔垂直度偏差不得大于 1%。

7.0.1.4 混凝土浇筑前清孔后孔底沉渣厚度,以摩擦力为主的桩,不得大于 300mm;以端承力为主的桩,不得大于 50mm。

7.0.1.5 浇筑混凝土前,孔内泥浆的相对密度应符合设计规定。当设计无规定时,宜为 1.10 ~ 1.20。含砂率宜为 4% ~ 6%,粘度宜为 20 ~ 22s。

7.0.2 灌注桩钢筋笼的质量除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)的有关规定外,尚应符合下列规定:

- (1) 钢筋笼直径允许误差为 $\pm 10\text{mm}$;
- (2) 钢筋笼安放后,顶标高允许误差为 $\pm 50\text{mm}$ 。

7.0.3 灌注桩混凝土检测和桩身混凝土完整性检测除应符合现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215)、《港口工程桩基规范》(JTJ254)、《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267)和《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)的有关规定外,尚应符合下列规定。

7.0.3.1 用于灌注桩混凝土强度评定的标准试件,每根桩至少应留置 2 组,当桩长大于 50m 时,应增加一组。

7.0.3.2 桩身混凝土完整性检测数量应为 100% 桩数,检测方法可采用低应变动力检测法或超声波检测法。

7.0.3.3 当桩身混凝土达到设计强度后,应按桩的总数抽取 3% 进行钻芯取样检测。检测应首先抽取混凝土浇注异常和完整性检测异常的桩。

7.0.4 经凿除后的桩顶混凝土应有完整的桩形,不得有浮浆、裂缝或夹渣。

附录 A 地基容许承载力及深度修正系数

A.0.1 当基础宽度 $b \leq 2\text{m}$, 入土深度 $L_1 \leq 3\text{m}$ 时, 地基容许承载力 $[q_0]$ 可按表 A.0.1-1 ~ A.0.1-6 选用。

老粘性土的容许承载力 $[q_0]$ 表 A.0.1-1

$E_s(\text{MPa})$	10	15	20	25	30	35	40
$[q_0](\text{kPa})$	380	430	470	510	550	580	620

注: ①老粘性土是指第四纪晚更新世 (Q_3) 及其以前沉积的粘性土;

② $E_s = (1 + e_1) / a_{1-2}$

式中 E_s ——压缩模量, 当老粘性土 $E_s < 10 \text{ MPa}$ 时, 容许承载力

$[q_0]$ 按一般粘性土表 A.0.1-2 确定;

e_1 ——压力为 0.1 MPa 时, 土样的孔隙比;

a_{1-2} ——对应于 $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 压力段的压缩系数 (MPa^{-1})。

一般粘性土的容许承载力 $[q_0](\text{kPa})$ 表 A.0.1-2

液性指数 I_L 天然孔隙比 e	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.5	450	440	430	420	400	380	350	310	270	240	220	-	-
0.6	420	410	400	380	360	340	310	280	250	220	200	180	-
0.7	400	370	350	330	310	290	270	240	220	190	170	160	150
0.8	380	330	300	280	260	240	230	210	180	160	150	140	130
0.9	320	280	260	240	220	210	190	180	160	140	130	120	100
1.0	250	230	220	210	190	170	160	150	140	120	110	-	-
1.1	-	-	160	150	140	130	120	110	100	90	-	-	-

注: ①一般粘性土是指第四纪全新世 (Q_4) 沉积的粘性土;

②土中含有粒径大于 2mm 的颗粒重量超过全部重量 30% 以上的, $[q_0]$ 可适当提高;

③当 $e < 0.5$ 时, 取 $e = 0.5$; 当 $I_L < 0$ 时, 取 $I_L = 0$ 。

残积粘性土的容许承载力 $[q_0]$

表 A.0.1-3

E_s (MPa)	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$[q_0]$ (kPa)	190	220	250	270	290	310	320	330	340

注：本表适用于我国西南地区碳酸盐类岩层的残积土，其他地区可参照使用。

砂土的容许承载力 $[q_0]$ (kPa)

表 A.0.1-4

土 名	密 实 度	密 实	中 密	松 散
	湿 度			
砾砂、粗砂	与湿度无关	550	400	200
中砂	与湿度无关	450	350	150
细砂	水上	350	250	100
	水下	300	200	—
粉砂	水上	300	200	—
	水下	200	100	—

碎石土的容许承载力 $[q_0]$ (kPa)

表 A.0.1-5

土 名	密 实 程 度	密 实	中 密	松 散
卵石		1200 ~ 1000	1000 ~ 600	500 ~ 300
碎石		1000 ~ 800	800 ~ 500	400 ~ 200
圆砾		800 ~ 600	600 ~ 400	300 ~ 200
角砾		700 ~ 500	500 ~ 300	300 ~ 200

注：①由硬质岩组成，填充砂土者取高值；由软质岩组成，填充粘性土者取低值；

②半胶结的碎石土，可按密实的同类土的 $[q_0]$ 值提高 10% ~ 30%；

③松散的碎石土在天然河床中很少遇见，需特别注意鉴定；

④漂石、块石的 $[q_0]$ 值，可参照卵石、碎石适当提高。

岩石的容许承载力 $[q_0]$ (kPa)

表 A.0.1-6

岩石破碎程度 岩石名称	碎石状	碎块状	大块状
硬质岩($R_a^i > 30\text{MPa}$)	1500 ~ 2000	2000 ~ 3000	> 4000
软质岩($R_a^i = 5 \sim 30\text{MPa}$)	500 ~ 1200	1000 ~ 1500	1500 ~ 3000
极软岩($R_a^i < 5\text{MPa}$)	400 ~ 800	600 ~ 1000	800 ~ 1200

注:①表中 R_a^i 为岩块单轴抗压强度,表中数值视岩块强度、厚度和裂隙发育程度等因素适当选用,易软化的岩石及极软岩受水浸泡时,宜用较低值;

②软质岩强度 R_a^i 高于 30MPa 的仍按软质岩计;

③岩石已风化成砾、砂和土状的风化残积物,可比照相应的土类确定其容许承载力,如颗粒间有一定的胶结力,可比照相应的土类适当提高。

A.0.2 地基容许承载力深度修正系数 k_2 可按表 A.0.2 选用。

地基容许承载力深度修正系数 k_2

表 A.0.2

土的类型 系数	粘性土			砂土								碎石土				
	老粘性土	一般粘性土		残积粘性土	粉砂		细砂		中砂		砂砾、粗砂		碎石圆砾角砾		卵石	
		$I_L \geq 0.5$	$I_L < 0.5$		中密	密实	中密	密实	中密	密实	中密	密实	中密	密实	中密	密实
k_2	2.5	1.5	2.5	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.0	5.5	5.0	6.0	5.0	6.0	6.0	10.0

注:①对稍松状态的砂土和松散状态的碎石土, k_2 值可取表列中密值的 50%;

②节理不发育或较发育的岩石不作深度修正,节理发育或很发育的岩石, k_2 可参照碎石的系数,但对已风化成砂、土状者,则参照砂土、粘性土的系数。

附录 B 灌注桩最大裂缝宽度验算

B.0.1 灌注桩桩身混凝土的最大裂缝宽度可按下列公式计算:

$$W_{\max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_{sl}}{E_s} \left(\frac{30 + d_s}{0.28 + 10\rho} \right) \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\rho = \frac{A_s}{\pi r^2} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中 W_{\max} ——最大裂缝宽度(mm);

α_1 ——构件受力特征系数,受弯时取 1.0,大偏心受压时取 0.9,偏心受拉时取 1.1,轴心受拉时取 1.2;

α_2 ——钢筋表面形状的影响系数,光面钢筋取 1.4,变形钢筋取 1.0;

α_3 ——荷载长期效应组合或重复荷载影响的系数,取 1.5;

σ_{sl} ——桩身受拉区边缘纵向钢筋应力(MPa);

E_s ——钢筋弹性模量(MPa);

d_s ——钢筋直径(mm),当用成束钢筋时,取用成束钢筋面积换算成一根钢筋面积的换算直径,当用不同直径钢筋时,取用换算直径 $4A_s/S$, S 为全部受拉钢筋周长总和;

ρ ——桩身截面配筋率,按实际配筋率计算,当 ρ 小于 0.6% 时,取 0.6%;

A_s ——钢筋截面面积(mm^2),取桩身截面全部纵向钢筋截面面积;

r ——桩身圆截面半径(mm)。

B.0.2 在荷载的长期效应组合下桩身受拉区边缘纵向钢筋应力 σ_{sl} 可按下列公式计算, 计算示意图见图 B.0.2。

(1) 轴心受拉:

$$\sigma_{sl} = \frac{N}{A_s} \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-1})$$

(2) 受弯:

$$\sigma_{sl} = \frac{130\alpha_E[(r_s/r) + \cos\phi]}{27.3\phi + 203.6(r_s/r)^2\alpha_E\rho - 24.4} \cdot \frac{M}{r^3} \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-2})$$

$$\phi = \frac{48.2 + 614\alpha_E\rho}{50 + 390\alpha_E\rho} \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-3})$$

(3) 小偏心受拉:

$$\sigma_{sl} = \frac{N}{A_s} \left(1 + \frac{2e_0}{r_s} \right) \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-4})$$

(4) 大偏心受拉:

$$\sigma_{sl} = \frac{N[(r_s/r) + \cos\phi]}{2A_s\cos\phi} \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-5})$$

$$\phi = \frac{(48.2 + 614\alpha_E\rho)(e_0/r)}{(50 + 390\alpha_E\rho)\frac{e_0}{r} + 14.46 + 184.2\alpha_E\rho} \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-6})$$

(5) 大偏心受压:

$$\sigma_{sl} = \frac{130\alpha_E[(r_s/r) + \cos\phi]}{27.3\phi + 203.6(r_s/r)^2\alpha_E\rho - 24.4} \left(\frac{N}{r^2} \right) \left(\frac{e_0}{r} \right) \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-7})$$

$$\phi = \frac{(48.2 + 614\alpha_E\rho)(e_0/r) + 203.6(r_s/r)^2\alpha_E\rho - 24.4}{(50 + 390\alpha_E\rho)(e_0/r) - 27.3} \cdot 10^3 \quad (\text{B.0.2-8})$$

式中 σ_{sl} ——桩身受拉区边缘纵向钢筋应力(MPa);

N ——轴向力设计值(kN);

A_s ——钢筋截面面积(mm²), 取桩身截面全部纵向钢筋截

面面积；

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；

r_s ——纵向钢筋中心所在圆周的半径(mm)；

r ——桩身圆截面半径(mm)；

ϕ ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角之半(rad)；

ρ ——桩身截面配筋率, $\rho = A_s / \pi r^2$ ；

M ——弯矩设计值(kN·m)；

e_0 ——轴向力的偏心距(mm)。

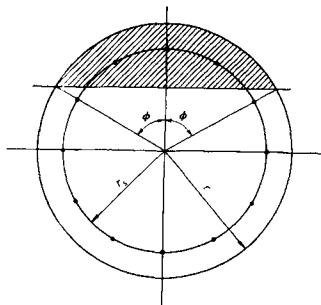


图 B.0.2 沿周边均匀配筋的圆形截面

附录 C 泥浆性能指标

表 C

泥浆性能指标

钻孔方法	地层情况	泥浆性能指标							
		相对密度	粘度 (Pa·s)	含砂率 (%)	胶体率 (%)	失水率 (ml/30min)	泥皮厚 (mm/30min)	静切力 (Pa)	酸碱度 (pH)
正循环	一般地层	1.05 ~ 1.20	16 ~ 22	8 ~ 4	≥ 96	≤ 25	≤ 2	1.0 ~ 2.5	8 ~ 10
	易坍地层	1.20 ~ 1.45	19 ~ 28	8 ~ 4	≥ 96	≤ 15	≤ 2	3 ~ 5	8 ~ 10
反循环	一般地层	1.02 ~ 1.06	16 ~ 20	≤ 4	≥ 95	≤ 20	≤ 3	1 ~ 2.5	8 ~ 10
	易坍地层	1.06 ~ 1.10	18 ~ 28	≤ 4	≥ 95	≤ 20	≤ 3	1 ~ 2.5	8 ~ 10
	卵石层	1.10 ~ 1.15	20 ~ 35	≤ 4	≥ 95	≤ 20	≤ 3	1 ~ 2.5	8 ~ 10
冲抓	一般地层	1.10 ~ 1.20	18 ~ 24	≤ 4	≥ 95	≤ 20	≤ 3	1 ~ 2.5	8 ~ 11
冲击	易坍地层	1.20 ~ 1.40	22 ~ 30	≤ 4	≥ 95	≤ 20	≤ 3	3 ~ 5	8 ~ 11

注：①地下水位高或流速大时，指标取高限，反之取低限；

②地质状态较好，孔径或孔深较小的取低限，反之取高限。

附录 D 泥浆原料粘土、膨润土和外加剂的性能要求

D.0.1 泥浆原料宜使用膨润土,使用普通粘土时,应满足下列要求。

D.0.1.1 塑性指数宜大于 25,小于 0.005mm 的粘粒含量宜大于 50%。

D.0.1.2 用刀切开时,切面光滑,颜色较深。干土破碎时,断面有坚硬的尖锐棱角。

D.0.1.3 自然风干后,用手不易掰开捏碎,水浸湿后有粘滑感,加水和成泥膏后,容易搓成 1mm 的细长泥条,用手指揉捻,感觉砂粒不多,浸水后能大量膨胀。

D.0.1.4 试拌泥浆,胶体率不低于 95%,含砂率不大于 4%。

D.0.2 当粘土指标不能满足第 D.0.1 的要求时,可选用性能指标略底的粘土,并掺入不少于 30% 的塑性指数大于 25 的粘土。

D.0.3 当采用的粘土拌制泥浆达不到附录 C 的要求时,可适当参加外加剂。

D.0.4 泥浆原料使用膨润土时,宜满足下列要求。

D.0.4.1 应优先使用钠质膨润土,也可采用钙质膨润土。用量宜为水的 8%,对粘土地层,用量可降低到 3%~5%。较差的膨润土用量宜为水的 12%。

D.0.4.2 膨润土的化学成分可参考表 D.0.4.2。

膨润土的化学成分

表 D.0.4.2

成分	钠质膨润土(%)	钙质膨润土(%)
SiO ₂	69.32	67.23
Al ₂ O ₃	14.27	15.29
CaO	1.99	2.22
MgO	2.69	4.01
K ₂ O	1.38	0.19
Na ₂ O	1.85	0.13
Fe ₂ O ₃	1.84	2.62
FeO	0.63	0.03
MnO	0.15	0.00
TiO ₂	0.17	0.13
P ₂ O ₅	0.04	0.06
烧失	5.67	8.09

D.0.4.3 参考美国石油协会 API 标准和欧洲 OCMA 标准,膨润土的质量指标宜满足表 D.0.4.3 的要求。

膨润土的质量指标

表 D.0.4.3

项目	造浆率 (m ³ /t)	失水量 (ml/30min)	水分 (%)	湿筛分析 (0.074mm)%	静切力(Pa)		
					60s	10min	24h
一级土	≥18	≤12	≤12	<4	≥18	≥25	≥40
二级土	12~18	12~18	≤12	<4	≥15	≥20	≥30
三级土	8~12	18~25	≤12	<4			

D.0.5 泥浆外加剂的性能及其掺量应符合下列规定。

D.0.5.1 CMC, 全名羧甲基纤维素, 应具有使地基土表面形成薄膜而使之强化和降低失水量的作用, 掺量宜小于 0.1%。

D.0.5.2 FCI, 又称络铁木质素磺酸钠盐, 为分散剂, 应具有改善泥浆变质的性能, 提高泥浆重复使用的质量, 掺量宜为 0.1% ~

0.3%。

D.0.5.3 硝基腐植酸钠盐,简称煤碱剂,作用与 FCI 相似,掺量应与 FCI 相同。煤碱剂和 FCI 两种分散剂可任选一种。

D.0.5.4 碳酸钠,又称碱粉或纯碱,其作用应使 pH 值增大,提高泥浆的胶体率和稳定性,降低失水量,掺量应与 FCI 相同。

附录 E 泥浆性能指标测定方法

E.0.1 相对密度可用泥浆相对密度计测定,其测定方法是将要量测的泥浆装满泥浆杯,加盖并洗净从小孔溢出的泥浆,然后置于支架上,移动游码,使杠杆呈水平状态,读出游码左侧所示刻度,即为泥浆的相对密度。

E.0.2 粘度可用标准漏斗粘度计测定,其测定方法是用两个开口量杯分别量取 200ml 和 500ml 泥浆,通过过滤网滤去砂粒后,将 700ml 泥浆均注入漏斗,然后使泥浆从漏斗流出,流满 500ml 量杯所需时间(s),即为所测泥浆的粘度。

E.0.3 静切力可用浮筒切力计测定,其测定方法是将约 500ml 泥浆搅匀后,立即倒入切力计中,将切力筒沿刻度尺垂直向下移至与泥浆接触时,轻轻放下,当它自由下降到静止不动时,即静切力与浮筒重力平衡时,读出浮筒上泥浆面所对的刻度,即为泥浆的初切力。取出切力筒,擦净粘着的泥浆,用棒搅动筒内泥浆后,静止 10min,用上述方法量测所得为泥浆的终切力。

E.0.4 含砂率可用含砂率计测定,其测定方法是将调好的泥浆 50ml 倒进含砂率计,然后再倒进清水,将仪器口塞紧摇动 1min,使泥浆与水混合均匀,再将仪器垂直静放 3min,仪器下端沉淀物的体积乘 2 就是含砂率。

E.0.5 胶体率的测定方法是将 100ml 泥浆倒入 100ml 的量杯中,用玻璃片盖上,静置 24h 后,量杯上部泥浆可能澄清为水,测量其体积如为 α ml,则胶体率为 $(100 - \alpha)\%$ 。

E.0.6 失水量(ml/30min)的测定方法是用一张 12cm × 12cm 的滤纸,置于水平玻璃板上,中央画一直径 3cm 的圆圈,将 2ml 的泥浆滴入圆圈内,30min 后,测量湿圆圈的平均直径减去泥浆坍平的直

径(mm),即为失水率。在滤纸上量出泥浆皮的厚度即为泥皮厚度。

E.0.7 酸碱度的测定方法是取一条 pH 试纸放在泥浆面上,0.5s 后拿出来与标准颜色相比,即可读出酸碱度值。

E.0.8 在桩孔中,泥浆可采用泥浆取样盒取样,其取样方法是用双绳控制取样盒深度和阀门开关,当一绳将取样盒下吊到孔中取样部位时,另一绳提升,关闭阀门,上提取样盒出孔口,即完成取样。

附录 F 常用成孔设备适用范围

常用成孔设备适用范围

表 F

成孔设备分类		适 用 范 围				
		土 层	孔 径 (mm)	孔 深 (m)	排渣 方式	泥 浆 作 用
转 盘 回 转 钻 机、动力 头 回 转 钻机	正 循 环 回 转 钻机	粘性土、砂土、 砾、卵石粒径小 于 2cm, 含量少 于 20% 的 碎 石 土, 软岩、硬岩	800 ~ 2000	< 40	悬浮 排渣	浮 悬 钻 渣 并 护 壁
	反 循 环 回 转 钻机	粘性土、砂土、 砾、卵石软、硬岩	800 ~ 3500	泵吸、 泵 举 < 50 气 举 < 100	泵举 气举 泵吸	护壁
回 转 潜 水 钻 机	正 循 环 潜 水 钻机	淤泥、粘性土、 砂土、砾、卵石粒 径小于 10cm, 含 量少于 20% 的 碎 石 土	600 ~ 1500	< 40	悬浮 排渣	浮 悬 钻 渣 并 护 壁
	反 循 环 潜 水 钻机	粘性土、砂土、 卵石粒径小于钻 杆内径 2/3, 含量 少于 20% 的 碎 石 土	600 ~ 1500	泵吸、 泵 举 < 50 气 举 < 100	泵吸 泵举 气举	护壁

续表 F

成孔设备分类		适 用 范 围				
		土 层	孔 径 (mm)	孔 深 (m)	排渣 方式	泥 浆 作 用
冲击钻 机	掏渣 筒 冲击 钻机	各类土层、岩 层	800 ~ 3000	< 40	掏渣 筒	悬 浮 钻 渣 并 护 壁
	正 循 环 冲击 钻机	各类土层、岩 层	800 ~ 3000	< 40	悬浮 排渣	悬 浮 钻 渣 并 护 壁
	反 循 环 冲击 钻机	各类土层、岩 层	800 ~ 3000	泵吸 < 50 气举 < 100	泵吸 气举	护 壁
冲抓钻 机		粘性土、砂土、 砾石粒径小于 10cm, 含量少于 30%的碎石土	600 ~ 2000	< 40	抓取	护 壁
钻斗钻 机		粘性土、砂土、 砾石粒径小于 10cm, 含量少于 30% 的 碎 石 土、 岩层	600 ~ 3000	< 90	钻斗 排渣	护 壁

注:①表列孔深为钻孔效率正常发挥值,相同类型不同厂家的钻机相差较大,此项仅作参考;

②泵吸反循环钻机实际吸程应小于钻机标定吸程;

③气举反循环钻机孔内水或泥浆深度宜大于 6m。

附录 G 本规程用词用语说明

G.0.1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词用语说明如下:

(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)对表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

G.0.2 条文中指明应按其它有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

本规程主编单位、参加单位、主要 起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中港第二航务工程局

参 加 单 位:重庆交通学院

浙江省交通规划设计院

武汉港湾工程设计研究院

主要起草人:周开国(中港第二航务工程局)

李振宽(武汉港湾工程设计研究院)

汪德隆(中港第二航务工程局)

(以下以姓氏笔画为序)

邓新安(中港第二航务工程局)

龙健若(武汉港湾工程设计研究院)

刘景瑚(浙江省交通规划设计院)

李荣华(中港第二航务工程局)

杨昌维(中港第二航务工程局)

徐 进(中港第二航务工程局)

欧阳仲春(重庆交通学院)

魏德彬(中港第二航务工程局)

总校人员名单:李永恒(交通部水运司)

黄海龙(交通部水运司)

周开国(中港第二航务工程局)

李振宽(武汉港湾工程设计研究院)

杨昌维(中港第二航务工程局)

徐 进(中港第二航务工程局)

管理组人员名单:周开国(中港第二航务工程局)

张 鸿(中港第二航务工程局)

杨昌维(中港第二航务工程局)

李宗哲(武汉港湾工程设计研究院)

中华人民共和国行业标准

港口工程灌注桩设计与施工规程

JTJ248—2001

条文说明

目 次

1 总则	52
3 基本规定	53
4 承载力	55
4.1 一般规定	55
4.2 垂直承载力计算	56
4.3 水平力作用下桩的计算	57
4.4 桩身承载力计算和最大裂缝宽度验算	58
5 结构设计	60
5.1 桩的构造	60
5.2 桩与上部结构的连接	60
6 灌注桩施工	61
6.1 施工准备	61
6.2 钻孔成孔	61
6.3 挖孔成孔	61
6.5 混凝土浇筑	62
7 施工检测及质量控制	63

1 总 则

1.0.1 本规程是在总结我国近 30 年来港口工程灌注桩设计与施工经验的基础上,参考国内外同类标准和规范,并结合灌注桩发展的新技术、新工艺和新设备编制的。本规程突出了港口工程灌注桩受水平力较大和多数在水域施工的特点,旨在推进灌注桩在港口工程中的应用。为统一港口工程灌注桩设计与施工的技术要求,达到技术先进、经济合理、安全适用和有效控制质量,是本规程的编制目的。

1.0.2 本规程适用于港口工程非嵌岩灌注桩的设计、施工、检测和质量控制,它与《港口工程桩基规范》(JTJ254)和《港口工程嵌岩桩设计与施工规程》(JTJ285)等是紧密相关的,应用时应掌握它们之间的相同和差异,正确理解有关条文。修造船工程的船坞、滑道、船台和舾装码头;通航工程的船闸、导墙和系靠码头等水工建筑物的灌注桩与港口工程灌注桩类似,故可参照执行。

3 基本规定

3.0.1 灌注桩因具有适合各种复杂地质条件、无噪声、无振动、无吊桩内力和打桩应力问题,因而可根据受力要求选择大直径以获得较大承载力等优点,已被广泛应用于国内外各类桩基工程中。我国港口工程从 20 世纪 60 年代中期已开始使用灌注桩,当时主要用水陆接合部分打桩难以施工的地方或地质条件适合挖孔的地方。到 80 年代灌注桩的施工设备和施工技术有了较大的发展和进步,施工质量不断提高,灌注桩在港口工程中的应用范围进一步扩大,在厦门市某码头和广东南海市某港已先后建成 3000 吨级的全直桩灌注桩桩基码头,长江沿岸、湘江、大运河和东南沿海及海岛也相继建成许多灌注桩桩基码头,投产使用效果良好。本条列出港口工程适宜采用灌注桩的几种情况,旨在充分说明灌注桩的优点,进一步促进其在港口工程中的应用。

3.0.2 在高桩码头设计中,由于水位差较大需要设置多层靠、系船设施时,往往在排架的前排桩采用钢管桩,中间及后排桩采用灌注桩,既便于靠、系船设施的连接,又可节约工程投资。长江中游湖南某高桩码头排架即由前二排 $\phi 800\text{mm}$ 钢管桩(内灌混凝土)和后排三排 $\phi 1000\text{mm}$ 灌注桩组成,1998 年投产,使用效果良好。

3.0.3 钻孔灌注桩和挖孔灌注桩在桥梁工程和建筑工程中大多采用直桩,在港口工程中也大多采用直桩,但因码头工程需承受较大水平力,采用斜桩受力更加合理,如果技术水平和设备性能可以施工斜桩,应该采用部分斜桩。

3.0.6~3.0.7 根据现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158),并结合港口工程灌注桩设计与施工特点,对灌注桩的承载能力极限状态和正常使用极限状态两种极限状态的设

计内容作了规定。第 3.0.6 条第(1)项所指桩的水平力极限状态设计是难以计算的,桩受水平力作用是根据桩自身的工作状态来确定其承载能力的。

3.0.9 关于灌注桩桩身混凝土完整性检测的可靠手段,目前国内多采用低应变动力检测法或超声波检测法。低应变动力检测法具有方便、快捷和经济适用等优点,可随时对混凝土质量有疑义的桩进行检测,在港口工程中已广泛应用。它的缺点是只能对桩身混凝土完整性提供定性资料,不能准确提供缺陷位置和程度等定量资料。超声波检测法能对桩身不同深度的混凝土进行多个断面的检测,可根据桩径大小确定埋管根数,因而能获得混凝土缺陷的具体位置和尺度等定量资料。它的缺点是需逐根桩预埋声测管,成本较高。

3.0.11 由于钻孔灌注桩在施工过程中采用泥浆护壁及清孔难以彻底,使桩侧摩阻力和端阻力不能充分发挥,造成钻孔灌注桩承载力偏低现象。国内外的试验研究和工程实践证明,对钻孔灌注桩进行后压力灌浆加固,能有效提高桩的承载力。国外于 1961 年首次在委内瑞拉马拉开波湖大桥桩基得到应用;我国自 80 年代开始研究试验并已在某些建筑工程、公路和铁路桥梁工程推广应用,取得了一定的效益。

压力灌浆是指钻孔灌注桩成桩后,在桩身混凝土强度达 50%~70%后,通过预埋在桩底的灌浆盒和预埋在桩身内的注浆管和溢浆管,对钻孔灌注桩桩底或桩侧进行压力灌浆的后灌浆工艺,试验证明对桩底进行灌浆加固不但可较大提高桩端阻力,也能提高桩侧阻力。

4 承载力

4.1 一般规定

4.1.1 垂直承载桩或水平承载桩按单桩设计的临界桩距的规定,与现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ254)的规定是一致的,其中水平承载桩在水平力方向的桩与桩的中心距规定为不小于 6~8 倍桩径,因为试验结果和理论分析表明,土质和桩径对群桩效应临界桩距的影响较大,所以对砂土中的桩或直径较大的桩取小值;对粘性土中的桩或直径较小的桩取大值。

4.1.2 港口工程灌注桩多数要承受水平力作用,桩的自由长度大且大多位于水域,因而相应的承载力要求和稳定性要求以及抗漂浮物撞击能力都比建筑工程的桩基高,桩径不宜过小,本条规定钻孔灌注桩直径不宜小于 600mm,是兼顾小型工程的受力条件,同时适应大多数成孔设备最小孔径的条件。对于挖孔灌注桩规定直径不宜小于 1000mm,是根据挖孔施工所需空间确定的。

4.1.5 桩端进入持力层的最小深度,是参考《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)的有关规定的,但由于强风化岩层风化程度悬殊较大,工程力学性能变化大,长期稳定性差,所以具体应用时应根据岩石风化程度和力学性能判断,其最小深度取 1.0~2.0 倍设计桩径。桩端进入中、微风化岩层深度不宜小于 500mm,是考虑岩石岩面不均质及局部倾斜确保桩端能全截面进入同一岩层,进入岩面的深度应从桩端岩面最低处起算,此时桩的承载力只计桩侧摩阻力和桩端阻力,不计入岩部分的岩石侧阻力。当设计要求桩端进入岩层深度更大,且需计入入岩部分的岩石侧阻力时,则按现行行业标准《港口工程嵌岩桩设计与施工规程》(JTJ285)的有关规定执行。

4.2 垂直承载力计算

4.2.1 根据极限状态设计概念及建(构)筑物安全等级要求,灌注桩极限承载力设计值应大于或等于桩所承受的荷载乘以结构重要性系数。

4.2.2 单桩垂直极限承载力设计值采用经验参数法计算,因港口工程灌注桩试桩资料较少,本规程取用的桩侧极限阻力标准值 q_{sk} 及桩端极限阻力标准值 q_{pk} ,是参照《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024—85)的数据,但对 q_{pk} 计算式中的清孔系数 m_0 值作了修改。

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024—85)中的 m_0 值是与沉渣厚度(t)/桩直径(d)的比值相关的系数, t/d 值分 0.6~0.3 和 0.3~0.1 两档,相应 m_0 为 0.25~0.7 和 0.7~1.0。随着灌注桩直径的增大以及施工技术的发展,显然已不容许也不可能让沉渣厚度按直径的比例存在,在工程质量控制时,都是限定沉渣厚度最大值。本规程在限制沉渣厚度不超过 300mm 的前提下, $m_0 = 0.65 \sim 0.9$,显然对于小直径的桩($d < 1000\text{mm}$),沉渣厚度应该控制得更严一些。

单桩垂直承载力分项系数 γ_R 的取值,是参考国内外同类规范的取值标准,并以港口工程灌注桩若干实例为蓝本,按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024—85)的方法计算单桩容许承载力、按本规程的方法计算单桩极限承载力设计值,两者对比,在安全度基本一致的条件下确定的。本条规定的 γ_R 值,因为当无试桩资料时,采用经验参数法计算单桩极限承载力设计值,而各项参数取值均有一定变化幅度,从而导致极限承载力设计值也有一定幅度变化,为确保安全,所以应对参数的取值作具体分析。当参数取值较高时, γ_R 值取大值;反之,当参数取值较低时, γ_R 值取小值。

4.2.3 因考虑到港口工程灌注桩的直径越来越大,相应的极限承载力也很大,且多数桩在水域中,试桩难度大、费用高,因此本条只要求在工程桩上做验证性试桩。试桩方法除传统的静载荷试验

外,还允许采用高应变动力检测法或采用其他新的试桩方法。其他新的试桩方法指近年来在国外采用的 Osterberg 试桩法和国内采用的自平衡试桩法,两种试桩法的基本原理和方法是一致的。前者为美国西北大学 Osterberg 教授的研究成果,后者是我国东南大学开发的专利。

4.2.5 本条公式中折减系数 ϵ_i 与《港口工程桩基规范》(JTJ254)的有关规定一致,单桩垂直抗拔承载力分项系数 γ_R 与单桩垂直抗压承载力分项系数相同。

4.2.6 在上层软土可能产生较大压缩的条件下,负摩擦是工程中客观存在的事实,国内外桩基工程因负摩擦力造成的工程事故时有发生。由于影响负摩擦力的因素甚多,难以确切地计算,国内外学者根据理论研究和现场观测成果,提出的若干计算方法,也都是经验性和近似性的,一般认为桩侧负摩擦力的大小和桩侧土层的有效应力有关。本规程只对负摩擦力产生的条件作了原则规定。《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)提供了具体计算公式和计算参数,可供参考。

4.3 水平力作用下桩的计算

4.3.1 当由垂直桩承受水平力时,应使桩有足够的人土深度,以便发挥垂直桩承受水平力的最大抗力。研究结果表明,桩的人土深度大于 $4T$ 时,其超过 $4T$ 部分桩长的侧抗力效应甚微。

4.3.2 承受水平力的桩,桩身内力和变位计算的方法很多,其中 m 法是我国目前常用的方法, $P-Y$ 曲线法在缺乏现场试桩资料时,使用范围有一定局限性,鉴于灌注桩水平静载荷试桩难度大、资料少, $P-Y$ 曲线法可操作性更差,故只有在条件具备时才可采用。

4.3.2.1 根据港口工程桩基绝大多数为高桩承台的特点,本条将自由长度为 L_0 、桩顶水平力为 H 及桩顶弯矩为 M 的单桩,按桩端固定条件分别列出地面处桩的变位 Y_0 的简化计算公式,即令 $H_0 = H$ 、 $M_0 = HL_0$ (或 $M_0 = HL_0 - M$) 及 $Z = 0$ 的无量纲系数 $A_y =$

2.441、 $B_y = 1.621$ 求得。有些国外规范及有关专业书籍中都直接列出 Y_0 的简化公式,有利于快捷计算。对于桩身内力主要要求桩在泥面以下最大弯矩值及最大弯矩所在深度。

4.4 桩身承载力计算和最大裂缝宽度验算

4.4.2 本条是考虑成桩施工方法对桩身强度的影响施工,工艺系数是以现行行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)为依据的。

4.4.3 桩的压屈计算方法取自《美国公路桥梁设计规范》(1994年)第10章,其中桩在泥面以下的嵌固深度 $t' = 1.8T$ 与假想嵌固点法的嵌固深度 $t = \eta T$ ($\eta = 1.8 \sim 2.2$) 十分接近。

根据《美国公路桥梁设计规范》(1994年),桩的压屈计算,假定桩在泥面以下的嵌固深度,对于粘性土 $t' = 1.4 \sqrt[4]{E_P I_P / E_0}$; 对于砂性土为 $t' = 1.8 \sqrt[5]{E_P I_P / n_h}$, 该方法取自 Davisson 和 Robinson (1965年)的著作。又据 Tomlinson《桩与桩的设计》一书介绍:对于很硬的超固结粘土,假定水平地基系数 k 为常数时,桩与土的相对刚度系数为 $R = \sqrt[4]{\frac{E_P I_P}{k B}}$; 对于大多数正常固结的粘土和砂土,假定水平地基系数随深度线性增加时,桩与土的相对刚度系数为 $T = \sqrt[5]{E_P I_P / n_h}$ 。

对于港口工程的桩基,绝大多数地基土都是正常固结的粘土和砂土,且假定水平地基系数随深度线性增加,故可采用 $T = \sqrt[5]{E_P I_P / n_h}$ 为桩和土的相对刚度系数,其中 n_h 为地基系数随深度增加的系数。实际上,根据太沙基的研究,桩侧水平地基系数 C 是随深度 y 成直线增大,却随受荷宽度 b_0 的增大而减小,即 $C = (n_h / b_0) y = my$, 式中 $m = \frac{n_h}{b_0}$ 或 $n_h = mb_0$, 由此推算 $T = \sqrt[5]{E_P I_P / n_h} = \sqrt[5]{E_P I_P / mb_0}$, 嵌固深度 $t' = t = 1.8T$, 可见桩的压屈计算和排架分析的假想嵌固点法在泥面以下桩的嵌固点深度是出自同一原理,并得出同一数值。

4.4.6 对于圆形截面受拉、受弯和偏心受压构件的裂缝宽度计算

目前尚无满意的方法。在调查中我们发现,大多数灌注桩只进行强度计算,其中有些设计人员考虑因缺少裂缝宽度验算而人为地增加配筋率,也有少数设计人员采用经验公式(即本规程附录 B 推荐的计算公式)进行裂缝宽度验算。从计算结果看,按裂缝宽度验算的配筋率远远大于按强度计算的配筋率。为了方便设计人员计算,本规程将灌注桩最大裂缝宽度计算公式列入附录 B,该公式取自赵国藩等编著的《钢筋混凝土结构的裂缝控制》(1991 年海洋出版社出版),是一个统计公式。

5 结构设计

5.1 桩的构造

5.1.1 桩身截面配筋率一般由水平承载力要求控制,在考虑到桩的耐久性、船舶意外碰撞和施工因素所造成的不利影响等,并在参考国外规范的灌注桩最小配筋率的基础上,本规程给出最小配筋率为 0.4%。

5.1.2.1 端承桩、抗拔桩和承受负摩擦力的桩,全桩长的轴向压力都较大,所以通长配筋。位于坡地或岸边的桩,当坡地或岸边存在软土层时,往往会产生附加的水平推力,使桩受到剪切,所以宜通长配筋。

5.1.2.2 桩长较大的端承摩擦桩应根据受力大小沿深度分段变截面配筋,可以降低成本。

5.2 桩与上部结构的连接

5.2.2 桩与桩帽或承台连接有两种方法,其一为桩直接伸入桩帽或承台,其伸入长度根据受力要求经计算确定;其二为桩伸入桩帽 50~150mm,通过桩顶钢筋与桩帽连接,这两种连接均为固接连接。根据灌注桩工程实际情况,绝大多数是采用后者,即将桩顶嵌入桩帽 100mm,并用桩顶钢筋与桩帽连接。对灌注桩而言,采用这种方法是较好的,它可通过桩帽钢筋混凝土使桩与桩帽很好地连成整体。

6 灌注桩施工

6.1 施工准备

6.1.1 钻孔灌注桩施工平面布置,是工程项目施工总体平面布置的一部分,所以应在工程项目施工组织设计中统一安排,并进行施工设计。

6.2 钻孔成孔

6.2.1.1 护筒最小壁厚和端部加强的规定是为了防止护筒埋置过程中变形和使用的刚度要求。

6.2.1.2 护筒内径一般按下式决定:

$$D \geq d + LJ + \delta$$

式中 D ——护筒内径(mm);

d ——设计钻孔直径(mm);

L ——护筒长度(mm);

J ——护筒下沉允许倾斜度,可取 1%;

δ ——钻头摆动的富余量,可取 50mm。

当计算结果 $D - d > 300\text{mm}$ 时,取 300mm。

对护筒直径不宜大于设计桩径 300mm 的规定,是为了控制桩基上部结构的平面尺寸。

6.2.5.2 用海水和淡水拌制泥浆其稳定性相差很多,所以规定拌制泥浆宜使用淡水。

6.3 挖孔成孔

6.3.1 有害气体是指有毒、可燃气体或大气中浮尘超过现行国家

标准《环境空气质量标准》(GB3095—96)规定的三级标准浓度限值。

6.5 混凝土浇筑

6.5.1 挖孔成孔后,如果在混凝土浇筑时能维持排干孔底积水,混凝土浇筑用干法施工,否则在孔内灌水,采用导管法施工工艺施工。

6.5.3.2 挖孔灌注桩浇注混凝土时,一般都具有人工振捣密实的条件。对于桩径较小且桩长较大的桩,距桩顶 10m 以下部分的桩身混凝土在人工捣实确有困难时,主要依靠其自重密实。

6.5.4 根据调查的工程实例,并参考下列规范的规定,作出本条规定。

(1)《建筑桩基技术规范》(JTJ94—94)规定水泥用量不小于 $360\text{kg}/\text{m}^3$;

(2)《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000)规定水泥强度等级不宜低于 42.5,水泥用量不宜小于 $350\text{kg}/\text{m}^3$,水灰比宜采用 0.5 ~ 0.6;

(3)日本《灌注桩设计施工手册》推荐水灰比宜为 0.5 ~ 0.6,水泥用量不小于 $370\text{kg}/\text{m}^3$ 。

6.5.5.2 导管的工作压力一般按下式进行计算:

$$p = \gamma_c h_c - \gamma_w h_w$$

式中 p ——导管承受的最大压力(kPa);

γ_c ——混凝土拌和物密度(kN/m^3);

h_c ——导管内混凝土柱最大高度(m);

γ_w ——孔内泥浆密度(kN/m^3);

h_w ——孔内泥浆深度(m)。

7 施工检测及质量控制

7.0.1.2 常用的测量孔深的方法是用测深锤测量。

7.0.1.3 挖孔成孔一般直接丈量孔径,可用吊垂球的方法检测孔的倾斜度。对于钻孔成孔则用长度为4~6倍设计桩径、外径等于设计桩径的笼式检孔器或超声波孔壁检测仪对孔径和孔的倾斜度进行检测。

7.0.1.4 沉渣厚度直接影响到灌注桩的质量,是钻孔成孔后清孔的主要指标。检测沉渣厚度的方法很多,一般采用取样盒法、测锤法或数字沉渣测厚仪法。取样盒法是从孔底取出浆样,经沉淀测其厚度,比较直观,是常用的方法。

7.0.3.2 随着灌注桩技术的发展,使用越来越广泛,灌注桩桩身混凝土的质量也越来越受到关注,对灌注桩混凝土的抽检频率均有适当提高。本条标准是根据多年的工程实践提出的。