

中华人民共和国行业标准

JTJ254—98

港口工程桩基规范

Code for Pile Foundation of Harbour Engineering

主编单位：交通部第三航务工程勘察设计院
批准部门：中华人民共和国交通部

1998—04—20发布

1999—06—01实施

中华人民共和国交通部发布

人民交通出版社

关于发布《港口工程桩基规范》的通知

交基发[1998]214号

各省、自治区、直辖市交通厅(局、委、办)，部属及双重领导企事业单位：

由我部组织交通部第三航务工程勘察设计院等单位修订的《港口工程桩基规范》，业经审查，现批准为强制性行业标准，编号为JTJ254—98，自1999年6月1日起施行。《桩基规范》(JTJ222—87)同时废止。

本规范的管理和出版组织工作由部基建管理司负责，具体解释工作由交通部第三航务工程勘察设计院负责。

中华人民共和国交通部
一九九八年四月二十日

前 言

本规范系根据交通部(1990)交函工字210号文通知，对《港口工程技术规范》第六篇第二册《桩基》(JTJ222—87)进行的修订。

近十余年，我国港口工程建设发展迅速，在外海建成一批大型深水码头，桩基工程在桩的长度、桩的承载力、桩型和施工环境都发生了很大变化。在修订规范时认真总结经验，开展专题研究，吸收国内外科研成果。同时，根据《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158—92)规定，采用了以概率论为基础的极限状态设计法以取代定值法设计。经广泛征求意见，反复修改，最后经审查定稿。

本规范共分11章和13个附录，并附条文说明。本次主要修订内容有：桩结构和承载力实现了以可靠度理论为基础以分项系数表达的概率极限状态设计方法的转轨，增加了预应力混凝土管桩设计与施工，改进了长桩吊运计算方法，修订了试桩方法、极限承载力确定方法和承载力经验参数值，改进了桩受水平力作用的计算方法，补充了外海桩基施工规定和控制标准。

本规范在实施时必须与《港口工程荷载规范》(JTJ215—98)、《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291—98)等配套使用。

本规范在执行过程中，如发现有需要修改和补充之处，请将意见函寄交通部第三航务工程勘察设计院，以便修改时参考。

本规范如有局部修订，其内容在《水运工程标准和造价管理信息》上刊登。

1 总 则

1.0.1 为使港口工程桩基设计与施工做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于港口工程中预制预应力混凝土桩、预应力混凝土管桩、钢管桩和钢筋混凝土桩等的设计、施工和静载荷试验。灌注桩和嵌岩桩可参照执行。

1.0.3 作用于桩上的荷载及其效应组合，应按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ215—98)和《高桩码头设计与施工规范》(JTJ291—98)等有关规定执行。

1.0.4 港口桩基工程，除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 符 号

A ——桩身截面面积；

A_s ——钢筋截面面积；

b_0 ——桩的换算宽度；

C_u ——土的不排水抗剪强度标准值；

d ——桩径或桩宽；

E_p ——桩材料的弹性模量；

E_s ——土的压缩模量；

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_c^W ——对接焊焊缝的抗压强度设计值；

f_{ce} ——钢材的端面承压强度设计值；

f_{cj} ——钢材局部紧接承压强度设计值；

f_f^W ——贴角焊焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{ij} ——钢材孔壁抗拉强度设计值；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值；

f_v^W ——对接焊焊缝的抗剪强度设计值；

f_y ——钢筋的抗拉强度设计值；

G ——桩重力；

H ——水平荷载；

H_0 ——作用在泥面处的水平荷载；

I_p ——桩截面的惯性矩；

L ——桩身长度；

l_i ——桩身穿过第*i*层土的长度；

L_t ——桩的入土深度；

m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数；

N ——桩轴向抗拔力设计值；

P ——作用于桩上的水平土抗力标准值；

P_t ——保护效率；

P_u ——桩侧单位面积极限水平土抗力标准值；

Q ——作用于桩顶的垂直荷载；

Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值；

Q_k ——单桩垂直极限承载力标准值；
 q_{fi} ——单桩第*i*层土的极限侧摩阻力标准值；
 q_R ——单桩极限桩端阻力标准值；
 R ——群桩水平承载力折减系数；
 S ——桩顶总沉降量；
 S_0 ——桩与桩中心距离；
 T ——桩的相对刚度系数；
 T_d ——单桩抗拔极限承载力设计值；
 t ——受弯嵌固点距泥面深度；
 U ——桩身截面周长；
 V ——钢材年平均腐蚀速度；
 Y ——桩的侧面水平变形；
 Y_{50} ——桩周土达极限水平土抗力一半时相应桩的水平变形；
 γ ——土的重度；
 γ_e ——土的有效重度；
 γ_R ——承载力分项系数；
 γ_s ——锤击沉桩拉应力分项系数；
 Δ ——钢管桩管壁预留单面腐蚀厚度；
 δ ——钢管桩壁厚；
 ϵ_{50} ——三轴仪试验中最大主应力差一半时所对应的应变值；
 η_i ——折减系数；
 η ——群桩垂直承载力折减系数；
 c_i ——孔壁局部受压承载力；
 σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后桩边缘混凝土的预应力值；
 σ_s ——锤击沉桩拉应力标准值；
 σ_{tj} ——孔壁受拉承载力；
 φ ——土的内摩擦角。

3 一般规定

- 3.0.1 港口工程可采用预应力混凝土桩、预应力混凝土管桩和钢管桩。内河港口中小型码头可采用钢筋混凝土桩。根据具体情况也可采用灌注桩或嵌岩桩。
- 3.0.2 桩的承载力应根据不同受力情况，分别按桩身结构强度和地基土对桩的支承能力进行计算，并取其小值。
- 3.0.3 对实际有可能同时在桩身出现的荷载，应按设计极限状态和设计状况进行组合。
- 3.0.4 桩在下列情况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承载力计算；
 - (2) 当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应验算软弱下卧层的承载力；
 - (3) 桩身受压、受弯、受拉和受扭承载力计算；
 - (4) 桩的自由长度较大时，应验算桩的压屈稳定等。
- 3.0.5 桩在下列情况应按正常使用极限状态设计：
- (1) 预应力混凝土桩、预应力混凝土管桩和钢筋混凝土桩的抗裂或限裂；
 - (2) 柔性系靠船桩的水平变形等。
- 3.0.6 桩基设计应考虑沉降和水平变形对使用的影响。

3.0.7 桩基设计与施工应具有下列资料：

- (1)使用要求；
- (2)水文、气象、地形、环境和水深资料；
- (3)地质资料及工程地质评价。桩基工程勘察要点按附录A确定；
- (4)桩的载荷试验或试沉桩资料；
- (5)有碍沉桩的障碍物的探摸资料；
- (6)主要施工机具设备资料等。

4 承载力

4.1 一般要求

4.1.1 在桩基中，桩与桩的中心距等于、大于6倍桩径(或桩宽)，以及中心距为3~6倍桩径，且桩端进入良好持力层时，可接单桩设计。其他情况可按群桩设计。

4.1.2 桩基宜选择中密或密实砂层、硬粘性土层、碎石类土或风化岩层等良好土层作为桩端持力层。

桩端进入持力层的深度(不包括桩尖部分长度)，对粘性土和粉土不宜小于2倍桩径，密实砂土和碎石类土不宜小于1倍桩径。

如良好持力层较厚，施工条件和桩身强度许可时，桩端进入持力层的深度宜达到桩端阻力的临界深度。

在桩端以下4倍桩径范围内，如存在软弱土层时，应考虑冲剪破坏的可能性。

4.1.3 为减少码头沉降，应采取以下措施：

- (1)同一桩台下的基桩，宜打至同一土层，且桩端标高不宜相差太大；
- (2)当桩端进入不同的土层时，各桩沉桩贯入度不宜相差过大；
- (3)同一桩台基桩桩端不应打入软硬不同土层。

4.2 垂直承载力

4.2.1 单桩承载力应根据静载荷试验确定。下列情况可不进行静载荷试验：

- (1)当附近工程有试桩资料，且沉桩工艺相同，地质条件相近时；
- (2)重要工程中的附属建筑物；
- (3)桩数较少的重要建筑物，并经技术论证；
- (4)小港口中的建筑物。

4.2.2 当进行静载荷试桩时，单桩垂直极限承载力设计值应按下式计算：

$$Q_d = \frac{Q_k}{R} \quad (4.2.2)$$

式中 Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值(kN)；

Q_k ——单桩垂直极限承载力标准值(kN)。当试桩数量 $n \geq 2$ ，且各桩的极限承载力最大值与最小值之比小于或等于1.3时，应取其平均值作为单桩垂直极限承载力标准值；其比值大于1.3时，应经分析确定；

R ——单桩垂直承载力分项系数。 R 取1.30，当地质情况复杂或永久作用所占比重较大时， R 取1.40。

4.2.3 凡允许不作静载荷试桩的工程，可根据具体情况采用承载力经验参数法或静力触探等确定单桩垂直极限承载力。

4.2.4 当按承载力经验参数法确定单桩垂直极限承载力设计值时，应按下式计算：

$$Q_d = \frac{1}{\gamma_R} (U \sum q_{fi} l_i + q_R A) \quad (4.2.4)$$

式中 Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值(kN)；

r_R ——单桩垂直承载力分项系数。 r_R 取1.45，当地质条件复杂或永久作用所占比重较大时， r_R 可取1.55；

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)。如无当地经验值时，对预制混凝土挤土桩可按表4.2.4-1采用；

l_i ——桩身穿过第*i*层土的长度(m)；

q_R ——单桩极限桩端阻力标准值(kPa)。如无当地经验值时，对预制混凝土挤土桩可按表4.2.4-2采用；

A ——桩身截面面积(m²)。

4.2.5 为提高钢管桩的桩端阻力和侧摩阻力，当覆盖层较差，且桩端打入良好持力层时，可采用半封闭式或封闭式桩尖。

4.2.6 桩径小于600mm的开口钢管桩，当桩端进入良好持力层的深度大于5倍桩径时，可认为桩端土的闭塞效应得到充分发挥，单桩垂直极限承载力设计值可按式(4.2.4)计算。

4.2.7 凡允许不作静载荷试桩的工程，其单桩抗拔极限承载力设计值可按下式计算：

$$T_d = \frac{1}{r_R} \left(U \sum_i q_{fi} l_i + G \cos \alpha \right) \quad (4.2.7)$$

式中 T_d ——单桩抗拔极限承载力设计值(kN)；

r_R ——单桩抗拔承载力分项系数。 r_R 取1.45，当地质条件复杂时， r_R 取1.55；

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

G ——桩重力(kN)，水下部分按浮重力计；

α ——桩轴线与垂线夹角(°)。

4.2.8 对重要工程和地质复杂的工程，以及其他情况影响桩的垂直承载力的可靠性时，宜采用高应变动力试验法对单桩垂直承载力进行检测。检测桩数可取总桩数的2%~5%，且不得少于5根。

采用动力试验法对桩承载力进行检查时，应符合国家现行标准规定。

4.2.9 当遇下列情况时，在基桩设计中宜考虑负摩阻力的影响：

- (1) 桩身穿过新近沉积或人工填筑的土层，该土层在其自重力作用下仍未固结稳定；
- (2) 桩台附近地面有大面积堆载时；
- (3) 存在有其他会引起桩入土范围内的土层产生压缩的因素时。

预制混凝土挤土桩桩侧极限摩阻力标准值 q_f (kPa)

表4.2.4-1

土的名称	土的状态	土 层 深 度 (m)						
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~13	13~16
淤 泥	$I_L > 1.0$ $1.5 < e \leq 2.4$	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	
粘 土 $I_p > 17$	$I_L > 1.0$	4~7	7~9	9~11	11~13	13~15	15~17	17~19
	$0.75 < I_L \leq 1.0$	11~14	14~17	17~20	20~23	23~26	26~29	29~32
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	20~23	23~26	26~29	29~32	32~35	35~38	38~41
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	27~31	31~35	35~39	39~43	43~47	47~51	51~55
	$0 < I_L \leq 0.25$	34~38	38~42	42~46	46~50	50~54	54~58	58~62
粉质粘土 $10 < I_p \leq 17$	$I_L > 1.0$	9~11	11~13	13~15	15~17	17~19	19~21	21~23
	$0.75 < I_L \leq 1.0$	20~22	22~24	24~26	26~28	28~30	30~32	32~34
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	27~30	30~33	33~36	36~39	39~42	42~45	45~48
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	35~39	39~43	43~47	47~51	51~55	55~59	59~63
	$0 < I_L \leq 0.25$	44~49	49~54	54~59	59~64	64~69	69~74	74~79
粉 土 $0 < I_p \leq 10$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	27~30	30~33	33~36	36~39	39~42	42~45	45~48
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	35~39	39~43	43~47	47~51	51~55	55~59	59~63
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	44~49	49~54	54~59	59~64	64~69	69~74	74~79
	$0 < I_L \leq 0.25$	54~60	60~66	66~72	72~78	78~84	84~90	90~96
粉 砂 细 砂	稍 密	35~39	39~43	43~47	47~51	51~55	55~59	59~63
	中 密	44~49	49~54	54~59	59~64	64~69	69~74	74~79
	密 实	54~60	60~66	66~72	72~78	78~84	84~90	90~96
中粗砂	$N > 30$	65~70	70~75	75~81	81~90	90~99	99~107	107~115

注： I_p 土的塑性指数； I_L —土的液性指数； N —标准贯入击数； e 土的天然孔隙比。

预制混凝土挤土桩桩侧极限摩阻力标准值 q_f (kPa)

续 上 表

土的名称	土 的 状 态	土 层 深 度 (m)					
		16 ~ 19	19 ~ 22	22 ~ 26	26 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40
淤 泥	$I_L > 1.0$ $1.5 < e \leq 2.4$						
粘 土 $I_p > 17$	$I_L > 1.0$						
	$0.75 < I_L \leq 1.0$	32 ~ 34	34 ~ 36	36 ~ 38	38 ~ 40	40 ~ 42	42 ~ 44
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	41 ~ 44	44 ~ 47	47 ~ 50	50 ~ 53	53 ~ 56	56 ~ 59
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	55 ~ 59	59 ~ 63	63 ~ 67	67 ~ 71	71 ~ 75	75 ~ 79
粉质粘土 $10 < I_p \leq 17$	$0 < I_L \leq 0.25$	62 ~ 66	66 ~ 70	70 ~ 74	74 ~ 78	78 ~ 82	82 ~ 86
	$I_L > 1.0$	—	—	—	—	—	—
	$0.75 < I_L \leq 1.0$	34 ~ 36	36 ~ 38	38 ~ 40	40 ~ 42	42 ~ 44	44 ~ 46
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	48 ~ 51	51 ~ 54	54 ~ 57	57 ~ 60	60 ~ 63	63 ~ 66
粉 土 $0 < I_p \leq 10$	$0.25 < I_L \leq 0.50$	63 ~ 67	67 ~ 71	71 ~ 75	75 ~ 79	79 ~ 83	83 ~ 87
	$0 < I_L \leq 0.25$	79 ~ 84	84 ~ 89	89 ~ 94	94 ~ 99	99 ~ 104	104 ~ 109
	$0.75 < I_L \leq 1.0$	48 ~ 51	51 ~ 54	54 ~ 57	57 ~ 60	60 ~ 63	63 ~ 66
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	63 ~ 67	67 ~ 71	71 ~ 75	75 ~ 79	79 ~ 83	83 ~ 87
粉 砂 细 砂	$0.25 < I_L \leq 0.50$	79 ~ 84	84 ~ 89	89 ~ 94	94 ~ 99	99 ~ 104	104 ~ 109
	$0 < I_L \leq 0.25$	96 ~ 102	102 ~ 108	108 ~ 114	114 ~ 120	120 ~ 126	126 ~ 132
	稍 密	63 ~ 67	67 ~ 71	71 ~ 75	75 ~ 79	79 ~ 83	83 ~ 87
中粗砂	中 密	79 ~ 84	84 ~ 89	89 ~ 94	94 ~ 99	99 ~ 104	104 ~ 109
	密 实	96 ~ 102	102 ~ 108	108 ~ 114	114 ~ 120	120 ~ 126	126 ~ 132
	$N > 30$	115 ~ 123	123 ~ 130	130 ~ 137	137 ~ 144	144 ~ 150	150 ~ 156

预制混凝土挤土桩桩端极限阻力标准值 q_R (kPa)

表4.2.4-2

土的名称	土的状态	土层深度 (m)						
		5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40
粘土 $I_p > 17$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	100 ~ 300	300 ~ 500	500 ~ 700	700 ~ 900	900 ~ 1100	1100 ~ 1200	1200 ~ 1300
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	300 ~ 500	500 ~ 700	700 ~ 950	950 ~ 1200	1200 ~ 1400	1400 ~ 1500	1500 ~ 1600
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	500 ~ 700	700 ~ 950	950 ~ 1200	1200 ~ 1430	1430 ~ 1650	1650 ~ 1800	1800 ~ 1950
	$0 < I_L \leq 0.25$	700 ~ 970	970 ~ 1250	1200 ~ 1500	1500 ~ 1750	1750 ~ 2000	2000 ~ 2200	2200 ~ 2300
粉质粘土 $10 < I_p \leq 17$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	200 ~ 500	500 ~ 790	790 ~ 1000	1000 ~ 1200	1200 ~ 1450	1450 ~ 1600	1600 ~ 1750
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	400 ~ 700	700 ~ 1050	1050 ~ 1400	1400 ~ 1750	1750 ~ 2050	2050 ~ 2200	2250 ~ 2400
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	600 ~ 1000	1000 ~ 1400	1400 ~ 1800	1800 ~ 2150	2150 ~ 2400	2400 ~ 2650	2650 ~ 2750
	$0 < I_L \leq 0.25$	800 ~ 1300	1300 ~ 1800	1800 ~ 2300	2300 ~ 2650	2650 ~ 3000	3000 ~ 3200	3200 ~ 3350
粉土 $0 < I_p \leq 10$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	600 ~ 1000	1000 ~ 1400	1400 ~ 1800	1800 ~ 2150	2150 ~ 2400	2400 ~ 2650	2650 ~ 2750
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	800 ~ 1300	1300 ~ 1800	1800 ~ 2300	2300 ~ 2650	2650 ~ 3000	3000 ~ 3200	3200 ~ 3500
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	1000 ~ 1700	1700 ~ 2300	2300 ~ 2900	2900 ~ 3350	3350 ~ 3750	3750 ~ 4000	4000 ~ 4200
	$0 < I_L \leq 0.25$	1500 ~ 2300	2300 ~ 3000	3000 ~ 3600	3600 ~ 4100	4100 ~ 4500	4500 ~ 4800	4800 ~ 5000
粉砂 细砂	稍密	1000 ~ 1700	1700 ~ 2300	2300 ~ 2900	2900 ~ 3350	3350 ~ 3750	3750 ~ 4000	4000 ~ 4200
	中密	1500 ~ 2300	2300 ~ 3000	3000 ~ 3600	3600 ~ 4100	4100 ~ 4500	4500 ~ 4800	4800 ~ 5000
	密实	2000 ~ 3000	3000 ~ 3900	3900 ~ 4750	4750 ~ 5500	5500 ~ 6100	6100 ~ 6600	6600 ~ 7000
中粗砂	$N > 30$	2400 ~ 3800	3800 ~ 5200	5200 ~ 6250	6250 ~ 7200	7200 ~ 8000	8000 ~ 8650	8650 ~ 9100

4.2.10 按群桩设计的基桩，其单桩垂直极限承载力设计值除应按本节有关规定确定外，尚应考虑群桩效应影响：

- (1)高桩承台单桩垂直极限承载力应乘以群桩折减系数，折减系数可按附录B采用；
- (2)高桩码头中的排架基桩，可不考虑群桩折减系数；
- (3)高桩码头起重机梁下的双桩，其间距一般小于3倍桩径，折减系数可取0.90~0.95，桩距小或入土深度大时取小值；
- (4)低桩承台单桩垂直极限承载力设计值可按有关规范确定。

4.3 水平力作用下桩的计算

4.3.1 承受水平力或力矩作用的单桩，其入土深度宜满足弹性长桩条件。当采用m法时，弹性长桩、中长桩和刚性桩的划分标准可按表4.3.1确定。桩的相对刚度系数可按附录C确定。

弹性长桩、中长桩和刚性桩划分标准 表4.3.1

弹性长桩	中长桩	刚性桩
$L_t \leq 4T$	$4T > L_t \geq 2.5T$	$L_t < 2.5T$

注： L_t ——桩的入土深度(m)；

T ——桩的相对刚度系数(m)。

4.3.2 承受水平力或力矩作用的弹性长桩桩身内力和变形，按下列规定确定。

4.3.2.1 重要港口建筑物在进行桩的水平力计算时，所采用的P—Y曲线法或m法的计算参数，应根据水平静载荷试桩确定。

4.3.2.2 当作用于桩上的水平力或力矩为非往复荷载时，可采用附录C的P—Y曲线法计算。当桩身在泥面处水平变形 $\leq 10\text{mm}$ 时，也可采用m法计算。

4.3.2.3 当必需考虑波浪等荷载的往复作用时，由于桩周粘土的退化，使土的抗力降低，桩的变形加大，P—Y曲线应另行确定。

4.3.3 当采用假想嵌固点法计算时，弹性长桩的受弯嵌固点深度可用m法并按下式确定：

$$t = \alpha T \quad (4.3.3)$$

式中 t —— 受弯嵌固点距泥面深度(m)。

α —— 系数，取1.8~2.2。桩顶铰接或桩的自由长度较大时取较小值，桩顶嵌固或桩的自由长度较小时取较大值；

T ——桩的相对刚度系数(m)，按附录C确定。

4.3.4 当按假想嵌固点法计算排架时，桩在泥面以下的内力和变形，可根据计算排架时求得的桩顶力矩和水平力，按附录C中的m法进行计算。

5 混凝土桩结构设计

5.1 一般要求

5.1.1 在计算桩使用时期的内力时，应考虑施工时期产生的而在使用时期仍然存在的内力，如斜桩自重力产生的内力等。

5.1.2 施工时期应按短暂状况对桩的内力进行验算，并考虑下列情况。

5.1.2.1 在进行施工时期内力验算时，可根据实际情况考虑下列荷载：

- (1)桩吊运内力和锤击沉桩应力；
- (2)桩的自重力和浮托力；
- (3)施工时期可能出现的水流力和波浪力；
- (4)上部结构安装过程中可能出现的偏心荷载等。

5.1.2.2 对已经沉入地基中但桩顶尚未用夹桩木夹好的桩，应按悬臂结构进行验算。
5.1.3 预制混凝土桩在吊运时，应将桩重力乘以动力系数。起吊和水平吊运时宜取1.3，吊立过程中宜取1.1。

5.2 吊桩内力和沉桩应力

5.2.1 预应力混凝土桩、钢筋混凝土桩和预应力混凝土管桩在出槽、搬运和吊立等阶段均应进行内力计算。

5.2.2 在计算吊运内力时应考虑桩长、截面尺寸、吊点位置、桩架高度、下吊索长度、桩的实心段长度、桩的浸水长度以及吊立过程中桩轴线与水平面的夹角等。所选用的吊点位置及施工工艺宜使桩受力合理。

桩在水平吊运和吊立过程中可采用同一套吊点。

5.2.3 桩的吊运可采用二点吊或四点吊，也可根据具体情况采用六点吊或其他布点形式进行吊运。当采用二点吊或四点吊时，其吊点位置和内力计算可按附录D确定。

5.2.4 锤击沉桩拉应力的标准值可按下列规定采用。

5.2.4.1 预应力混凝土桩拉应力标准值分为5.0、5.5、6.0和6.5MPa四级；后张法预应力混凝土大直径管桩拉应力标准值为6.0MPa~9.0MPa。

5.2.4.2 拉应力的取值应根据锤型、锤击速度大小、桩垫性能程度、桩长及土质情况等综合考虑。凡符合下列情况之一时取较小值：

- (1) 锤型和锤击速度较小时；
- (2) 采用弹性较大的软桩垫，如120mm厚的水泥袋纸桩垫；
- (3) 桩长小于30m；
- (4) 无较明显的硬、软土层相间情况。

5.2.4.3 对有沉桩经验的地区且经过论证，拉应力标准值取值可酌情增减。

5.2.5 锤击沉桩压应力的标准值按下列规定采用。

5.2.5.1 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩压应力标准值可取12.0MPa~20.0MPa；后张法预应力混凝土大直径管桩压应力标准值可取25.0MPa。

5.2.5.2 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩压应力标准值的取值应根据桩端支承性质、桩截面大小、桩长、选用的桩锤及地基条件综合考虑。凡符合下列情况之一时，可取较小值：

- (1) 锤能和锤击速度较小时；
- (2) 采用刚度较小而弹性较大的软桩垫；
- (3) 桩长小于30m；
- (4) 有不易造成偏心锤击的地质条件。

5.2.5.3 对有沉桩经验的地区且经过论证，压应力标准值可酌情增减。

5.3 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩的计算与构造

5.3.1 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩在下列情况下应进行正截面承载力计算及抗裂验算：

(1) 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩在施工及使用时期均应进行正截面承载力计算；

(2) 预应力混凝土桩在施工和使用时期均应进行抗裂验算。钢筋混凝土桩在吊运和吊立过程中应进行抗裂验算。

5.3.4 桩在进行正截面承载力计算和抗裂验算时，应根据实际受力情况，按表5.3.2规定计算。

桩的正截面承载力计算及抗裂度验算项目表 表5.3.2

项 目	作用和作用效应
轴向受压	受压桩轴向压力，锤击沉桩压应力
轴向受拉	锤击沉桩拉应力，受拉桩轴向拉力
弯 曲	吊运及其他阶段产生的弯矩
偏心受压	受压桩轴向压力与弯矩的组合
偏心受拉	受拉桩轴向拉力与弯矩的组合

注：当承受较大扭矩作用时，尚应对受扭情况进行验算。

5.3.3 在进行预应力混凝土桩顶部的正截面承载力计算及抗裂验算时，应考虑预应力钢筋在其传递长度范围内预应力值的降低。

5.3.4 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩正截面承载力计算和抗裂验算应按下列规定确定。

5.3.4.1 使用时期：应符合现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267—98)规定。

5.3.4.2 施工时期按下列规定计算：

(1) 预应力混凝土桩进行锤击沉桩拉应力验算时，应满足下式要求：

$$\sigma_s \leq \frac{p_c}{p_c} + f_t \quad (5.3.4)$$

式中 σ_s ——锤击沉桩拉应力分项系数，取1.10；

σ_s ——锤击沉桩拉应力标准值(MPa)；

p_c ——扣除全部预应力损失后桩边缘混凝土的预应力值(MPa)；

p_c ——混凝土预应力分项系数，取1.0

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值(MPa)。

(2) 除(1)项规定外，施工时期其他计算应符合现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》规定。

5.3.5 桩的主筋符合下列规定。

5.3.5.1 主筋宜优先采用变形钢筋。

5.3.5.2 主筋直径不应小于14mm，主筋根数不宜少于8根，桩宽在450mm以下时，不得少于4根。

5.3.5.3 主筋宜对称布置。当外力方向固定时，允许增加附加短筋，以抵抗局部内力，但所加短筋要有足够的锚固长度。加有短筋的桩，应作出明显标志或采取其他措施，以保证沉桩后所加短筋的位置符合受力要求。

5.3.5.4 钢筋混凝土桩宜采用II级和III级钢筋作为主筋，预应力混凝土桩宜采用冷拉II级、III级和IV级钢筋作为主筋。配筋率均不得小于桩截面面积的1%。

5.3.6 桩的箍筋符合下列规定。

5.3.6.1 箍筋宜采用I级钢筋或冷轧带肋钢筋，直径6mm~8mm。箍筋应做成封闭式。

5.3.6.2 钢筋混凝土桩的箍筋间距，不应大于400mm；预应力混凝土桩的箍筋间距，宜取400mm~500mm。对承受较大锤击压应力的桩，箍筋宜适当加密。

5.3.6.3 当桩每边主筋根数等于或大于3根时，应设置附加箍筋。附加箍筋间距可适当放大。但采用胶囊抽芯工艺制作空心桩时，固定胶囊的附加箍筋间距不应大于500mm。

5.3.6.4 在桩顶4倍桩宽和桩端3倍桩宽范围内(图5.3.6)箍筋间距应加密至50mm~100mm。

5.3.6.5 桩顶应设置3~5层钢筋网，其钢筋直径为5mm~6mm，两个方向的钢筋间距均为50mm~60mm。钢筋网应与桩顶箍筋相连。

11.3.7 桩尖部分钢筋不应少于4根。当桩尖部分钢筋为另加的短筋时，所加短筋的直径不应小于桩的主筋直径，且在桩身内应有足够的锚固长度，并与主筋相连。桩尖部分宜设置间距为50mm~100mm，直径为6mm的箍筋(图5.3.6)。

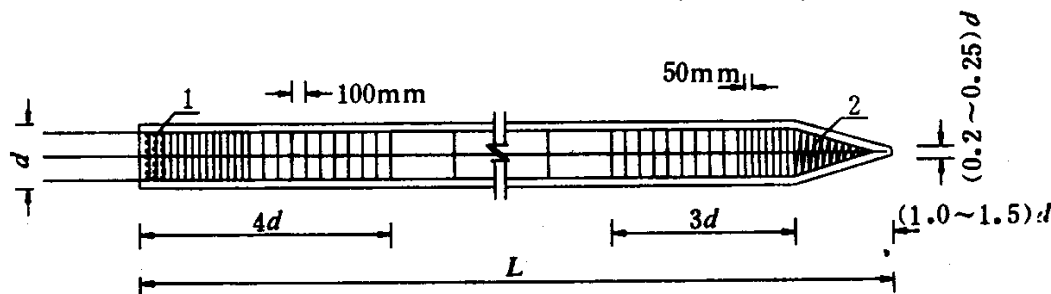


图 5.3.6 桩身构造图

1-钢筋网 3~5 层；2-螺旋钢筋

5.3.8 钢筋混凝土桩的混凝土强度等级不宜低于C35，预应力混凝土桩的混凝土强度等级不宜低于C40。

5.3.9 空心桩的外保护层厚度应满足现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》要求，内壁保护厚度不宜小于40mm。当采用胶囊抽芯制桩工艺时，尚应考虑胶囊上浮的影响。

对锤击下沉的空心桩，在桩顶4倍桩宽范围内应做成实心段。冰冻地区桩顶实心段长度应适当加长。

5.3.10 方桩桩尖可按图5.3.6设计。桩尖长度约为1.0~1.5倍桩宽，当桩需要穿过或进入硬土层时，桩尖长度宜取较大值。

5.3.11 当桩需要打入风化岩层、砾石层或打穿柴排等障碍物而沉桩困难时，宜设置穿透能力强的桩靴。

对打入风化岩的桩，也可在桩端设置H形型钢，以增加打入风化岩层的深度。H形型钢伸出混凝土桩端长度根据具体情况确定，但不宜小于1.0m。

5.3.12 桩顶与桩帽或横梁的连接符合下列要求。

5.3.12.1 当桩与桩帽或横梁的连接按铰接设计时，应将桩顶伸入桩帽或横梁50mm~100mm，海港工程取大值。桩的主筋应全部伸入桩帽或横梁，其外伸长度可取400mm~500mm。当需要充分利用桩顶外伸钢筋强度时，外伸长度应满足钢筋锚固长度的规定。

5.3.12.2 当桩与桩帽或横梁的连接按固接设计时，可按第5.4.10条设计。

5.3.13 港口工程基桩宜整根预制。当需要接桩时满足下列要求。

5.3.13.1 每根桩的接头数量不宜多于一个，接桩位置宜设在泥面以下且内力和腐蚀性较小处，同时尚应考虑施工的可能。

5.3.13.2 接桩处的结构设计，应按第5.3.2条规定设计。

5.3.13.3 接桩结构的设计强度不应低于该截面计算所需强度的1.5倍。在接头上下各2倍桩宽范围内应作成实心段，并应将箍筋加密及增设钢筋网，其要求同第5.3.6条。

5.3.13.4 接桩结构的外露铁件和钢筋，均应采取有效的防腐措施。

5.3.13.5 当采用法兰盘接桩时，应采取有效措施，防止螺栓松动。

5.4 预应力混凝土管桩计算与构造

5.4.1 预应力混凝土管桩按生产工艺可分为：

(1)后张法预应力混凝土大直径管桩，由预制混凝土管节拼接，并采用后张法预加应力形成的管桩；

(2)先张法预应力混凝土管桩，由预制预应力混凝土管节拼接，采用焊接或法兰盘螺栓联接形成的管桩。

5.4.2 预应力混凝土管桩正截面承载力计算和抗裂验算方法，应按第5.3.4条规定计算，其中锤击沉桩拉应力分项系数 γ_s 取1.15。

5.4.3 后张法预应力混凝土大直径管桩的管节拼接可采用粘结剂。粘结剂除应满足强度要求外，尚应满足抗锤击、抗腐蚀和抗老化要求。

5.4.4 后张法预应力混凝土大直径管桩的主筋、箍筋和纵向架立筋满足下列要求：

(1)预留孔内可采用单股或双股钢绞线。钢绞线的强度指标应符合现行国家标准《预应力混凝土钢绞线》(GB/T5224)规定。主筋不应少于16根，并沿周长均匀布置；

(2)箍筋宜采用I级钢筋，直径不得小于6mm。箍筋应做成螺旋式；

(3)桩顶管节螺旋箍筋的螺距应取50mm；普通管节两端部各1m范围内应取50mm，其余应取100mm；

(4)固定箍筋的架立筋宜采用I级钢筋，直径可采用7mm。

5.4.5 后张法预应力混凝土大直径管桩壁厚应满足钢绞线预留孔及外内保护层要求。

5.4.6 后张法预应力混凝土大直径管桩预留孔灌浆应密实，灌浆材料强度不得低于40MPa，并应满足握裹力要求。

5.4.7 为消除后张法预应力混凝土大直径管桩打桩过程中水锤现象对桩身的不利影响，应在桩身适当部位预留排水孔，孔径可取50mm。当沉桩区淤泥较厚时，宜采取措施防止淤泥涌入桩内，对管壁产生侧向压力。

5.4.8 先张法预应力混凝土管桩的结构尺寸、材料、管节接头等技术要求应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》(GB13476)规定。但当用于港口工程时，主筋混凝土保护层最小厚度应符合现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》规定。对泥面以下2m及其以上部位管节接头外露铁件，应采取防腐措施。

5.4.9 当预应力混凝土管桩打入风化岩层、砾石层和老粘土层等土层，沉桩困难时，宜设置钢桩靴，并在桩顶设钢板箍。

5.4.10 预应力混凝土管桩与桩帽或横梁的连接符合下列规定。

5.4.10.1 当管桩与桩帽的连接按固接设计时，应采用图5.4.10(a)的连接型式。按固接设计满足下列要求：

(1)管桩伸入桩帽的长度应符合第5.4.12条和第5.4.13条规定，并不得小于0.75倍桩径；

(2)在管桩顶内部应浇筑桩芯混凝土，桩芯混凝土伸入桩帽底面以下不得小于1倍桩径，混凝土的强度等级不应低于桩帽混凝土强度等级；

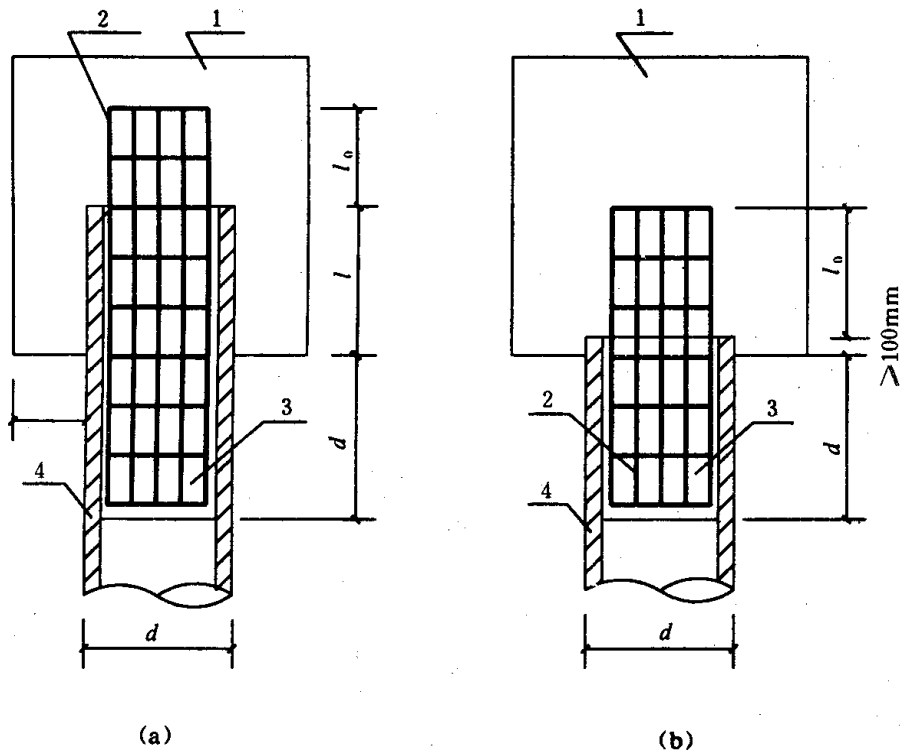


图 5.4.10 管桩与桩帽连接

1-桩帽或横梁；2-桩芯钢筋笼；3-桩芯混凝土；4-管桩

(3) 桩芯纵向钢筋应通过计算确定，且其配筋率不应低于1%，钢筋应采用II级钢筋。桩芯箍筋宜采用直径为7mm~10mm的I级钢筋，间距可取200mm~250mm。纵向钢筋伸出桩顶的长度 l_0 应满足锚固要求；

(4) 桩帽的外包宽度不宜小于0.4倍桩径，且应考虑打桩偏位的影响。桩帽顶面配筋率不宜小于最小配筋率0.15%，桩帽的钢筋应作成封闭式。

5.4.10.2 当管桩与桩帽或横梁的连接按铰接假定设计时，可采用图5.4.10(b)连接型式。

管桩伸入桩帽或横梁的长度不应小于100mm。桩芯混凝土及纵向配筋率等可按第5.4.10.1款执行。桩帽外包宽度不宜小于0.25倍桩径，且应考虑打桩偏位的影响。

5.4.11 当管桩与桩帽连接按固接设计，受压时应验算桩顶混凝土的挤压和冲切强度。

5.4.12 当管桩与桩帽连接按固接设计，轴向受拉时连接处轴向抗拔力设计值可按下式计算：

$$N = f_y A_s \quad (5.4.12)$$

式中 N ——轴向抗拔力设计值(N)；
 f_y ——钢筋的抗拉强度设计值(N/mm²)；
 A_s ——桩芯钢筋截面面积(mm²)。

5.4.13 当管桩与桩帽连接按固接设计，桩受弯时连接节点(图5.4.13)的受弯承载力可按下式计算：

$$\frac{6M}{dl^2} + \frac{4V}{dl} \leq f_c \quad (5.4.13)$$

式中 M ——作用于桩帽底管桩中心的弯矩设计值(N·mm)；
 l ——管桩伸入桩帽的长度(mm)；
 V ——作用于桩帽底的剪力设计值(N)；
 d ——管桩外径(mm)；
 $\frac{6M}{dl^2} + \frac{4V}{dl}$ ——桩帽混凝土挤压强度系数，取2.7；
 f_c ——桩帽混凝土的轴心抗压强度设计值(N/mm²)。

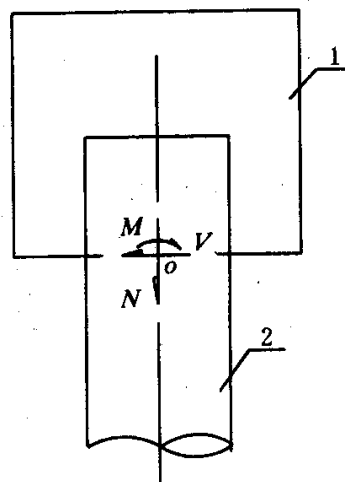


图5.4.13 管桩与桩帽连接计算图式
 1-桩帽或横梁，2-管桩

5.4.14 预应力混凝土管桩计算与构造未作规定部分可按第5.3节规定设计。

6 钢管桩结构设计

6.1 材料

6.1.1 钢管桩所用钢材，应根据建筑物的重要性、自然条件、受力状况和抗腐蚀要求等，在满足设计对其机械性能和化学组成要求的前提下，考虑材料的加工和可焊性，并通过技术经济比较后确定。钢管桩所用钢材，应取用同一型号的钢种。

对一般工程，钢管桩所用钢材可采用氧气转炉、平炉或电炉冶炼的Q235钢、16Mn钢、15MnV钢。使用Q235钢时应根据工程需要选用合适的质量等级的镇静钢。对重要海港工程，经技术经济论证后，也可采用耐腐蚀钢种。

钢材的质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》(GB700)和《低合金结构钢技术条件》(GB1591)的规定。

6.1.2 焊接材料的机械性能应与钢管桩主材相适应，对海港工程尚应考虑防腐蚀要求。当钢管桩主材为普通碳素钢或低合金结构钢时，焊接材料按下列规定采用。

6.1.2.1 手工焊接：应选用与主材相适应的结构钢焊条。

(1)一般工程采用：

Q235钢：应采用E4301、E4303型等E43XX系列焊条。

低合金钢：应采用E5010、E5011型等E50XX系列焊条。

(2)重要工程或需要在低温下焊接时，应采用低氢焊条。

6.1.2.2 自动焊接：应采用与主体金属强度相适应的焊接用钢丝和焊剂。

Q235钢：应采用焊丝H08、H08A、H08Mn、H08MnA等，并配合相应焊剂。

低合金钢：应采用焊丝H08MnA、H10MnSi、H10Mn₂等，并配合相应焊剂。

6.1.2.3 焊接材料应符合现行国家标准《碳钢焊条》(GB5117)、《低合金焊条》(GB5118)和《碳素钢埋弧焊用焊剂》(GB5293)等标准的规定。

6.1.3 材料的强度设计值符合下列规定。

6.1.3.1 碳素钢的强度设计值应根据钢材厚度或直径分组取值。钢材分组方法应按

表6.1.3—1采用。

6.1.3.2 钢材的强度设计值应按表6.1.3—2确定。

6.1.3.3 焊接材料的强度设计值应按表6.1.3—3确定。

Q235钢材分组尺寸(mm) 表6.1.3-1

组 别	角钢、工字钢和槽钢的厚度	钢板的厚度
第1组	15	20
第2组	> 15 ~ 20	> 20 ~ 40

注：工字钢和槽钢的厚度系指腹板的厚度。

钢材的强度设计值(MPa) 表6.1.3-2

钢 号	钢 材		抗拉、抗 压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
	组 别	厚度或直径 (mm)			
Q235	第1组	—	215	125	320
	第2组	—	200	115	320
16Mn	—	16	315	185	445
16Mnq	—	17 ~ 25	300	175	425
	—	26 ~ 36	290	170	410
15MnV	—	16	350	205	450
	—	17 ~ 25	335	195	435
15MnVq	—	26 ~ 36	320	185	415

注：Q235镇静钢钢材的抗压、抗弯和抗剪强度设计值，可按表中的数值增加5%。

焊缝的强度设计值(MPa) 表6.1.3—3

焊接方法 和焊条型号	构 件 钢 材			对 接 焊 接			角焊续 抗拉、抗 压和抗 剪 f_f^w	
	钢号	组别	厚度 或直径 (mm)	抗 压 f_c^w	焊缝质量为下列级 别时，抗拉和抗弯 f_t^w			抗 剪 f_v^w
					一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊 和E43XX系列焊条 的手工焊	Q235	第1组	-	215	215	105	125	160
		第2组	-	200	200	170	115	160
自动焊、半自动焊 和E50XX系列焊条 的手工焊	16Mn	-	16	315	315	270	185	200
	16Mnq	-	17 ~ 25	300	300	255	175	200
		-	26 ~ 36	290	290	245	170	200
自动焊、半自动焊 和E55XX系列焊条 的手工焊	15MnV	-	16	350	350	300	205	220
		-	17 ~ 25	335	335	285	195	220
	15MnVq	-	26 ~ 36	320	320	270	185	220

注：自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属抗拉强度不低于相应手工焊条的数值。

6.2 计算和构造

6.2.1 钢管桩在使用时期和施工时期应分别进行强度计算和稳定性验算。计算方法应按现行国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17)执行。

6.2.2 钢管桩管壁的厚度由两部分组成：

(1)有效厚度：管壁在外力作用下所需要的厚度，应按第6.2.1条确定；

(2)预留腐蚀厚度：为建筑物在使用年限内管壁腐蚀所需要的厚度，应按第6.3.6条确定。

6.2.3 钢管桩管壁的计算厚度：使用时期，应取有效厚度；施工时期，可根据施工期限，防腐蚀效果，在计算厚度内计入全部或部分的腐蚀厚度。

6.2.4 当钢管桩打入良好持力层，且沉桩困难时，桩外径与壁厚之比不宜大于70。

6.2.5 在钢管桩内灌注混凝土所形成的钢管混凝土桩，其桩身结构承载力可按《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS28)或其他可靠方法计算。

6.2.6 钢管桩宜采用两点吊。钢管桩在吊运时应将桩重乘以动力系数。水平吊运宜取1.3，吊立过程宜取1.1。

在吊桩过程中，如采用吊耳板时，为便于桩纳入龙口，必要时可在上吊点位置对称的一侧多设一个吊耳板。

吊耳板可按附录E规定设计。

6.2.7 桩顶锚固形式应满足下列要求。

6.2.7.1 钢管桩与桩帽(或横梁)之间应采用固接连接。

固接连接有桩顶直接伸入桩帽(或横梁)内和桩顶通过锚固铁件或钢筋伸入桩帽(或横梁)内两种形式(图6.2.7)。

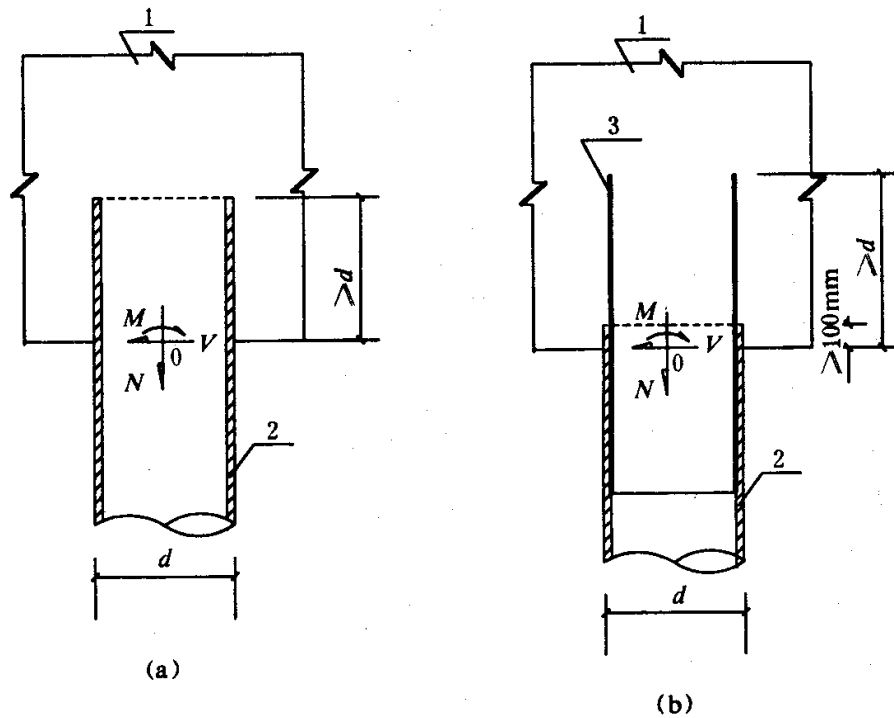


图 6.2.7 钢管桩与桩帽（或横梁）连接

1-桩帽或横梁；2-钢管桩；3-锚固铁件

6.2.7.2 桩顶固接连接时，应能承受桩顶弯矩、剪力和轴向力等作用，并按表6.2.7规定验算。

桩顶锚固验算项目

表6.2.7

固接形式 荷载情况	桩顶直接伸入桩帽(或横梁)	桩顶通过锚固铁件伸入桩帽(或横梁)
轴向压力	桩顶混凝土的挤压和冲切	
轴向拉力	桩顶锚固深度	锚固铁件的截面积、锚固长度和焊缝长度
水平剪力、弯矩	桩侧混凝土的挤压应力	桩侧混凝土的挤压和铁件应力

注， 桩顶直接伸入桩帽(或横梁)内时，桩顶伸入的最小深度不应小于1倍桩径；

桩顶通过锚固铁件或钢筋伸入桩帽(或横梁)内时，桩顶伸入的深度不应小于100mm；

当桩受轴向拉力时，桩顶直接伸入桩帽(或横梁)的部分必要时可加焊锚固铁件。

6.2.8 钢管桩顶和桩端可不采取加固措施。但当桩端需穿越障碍

物，或打入坚硬土层时，可对桩顶或桩端进行加固，必要时可设置桩靴。

6.2.9 宜避免在水上接桩。如必须在水上接桩时，在同一根桩上接桩不宜多于一处，并满足下列要求。

6.2.9.1 接桩位置满足下列要求：

(1)应设在内力较小处；

(2)应避免在浪花飞溅区和潮差区；

(3)应避免在桩身壁厚变化处；

(4)接桩设计不宜使接桩时桩端处于软弱土层上，以避免溜桩。

6.2.9.2 接桩的构造形式可按图6.2.9选用。

6.2.10 焊缝形式和尺寸符合下列规定。

6.2.10.1 钢管桩组装时应采用对接焊缝，不得用搭接或侧面有覆板的焊接形式。

6.2.10.2 工厂预制时宜采用平焊。纵缝或环缝宜采用V形或X形坡口进行双面施焊。如双面施焊有困难时，可采用带内衬板的V形坡口单面焊，内衬板的厚度不宜小于4mm，宽度可取30mm~50mm。当焊接工艺有保证时，也可以采用其他焊缝坡口形式。

焊缝坡口的尺寸及代号，应按现行国家标准《气焊手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本型式与尺寸》(GB985)和《埋弧焊焊缝坡口的基本型式与尺寸》(GB986)规定执行。

6.2.10.3 水上接桩的焊缝形式，宜采用单边V形坡口。上节桩的坡口角度采用45°~55°，下节桩不开坡口。在钢管桩的内壁应设有内衬套或内衬环(图6.2.9)。

6.2.11 纵向焊缝和管节组装符合下列规定。

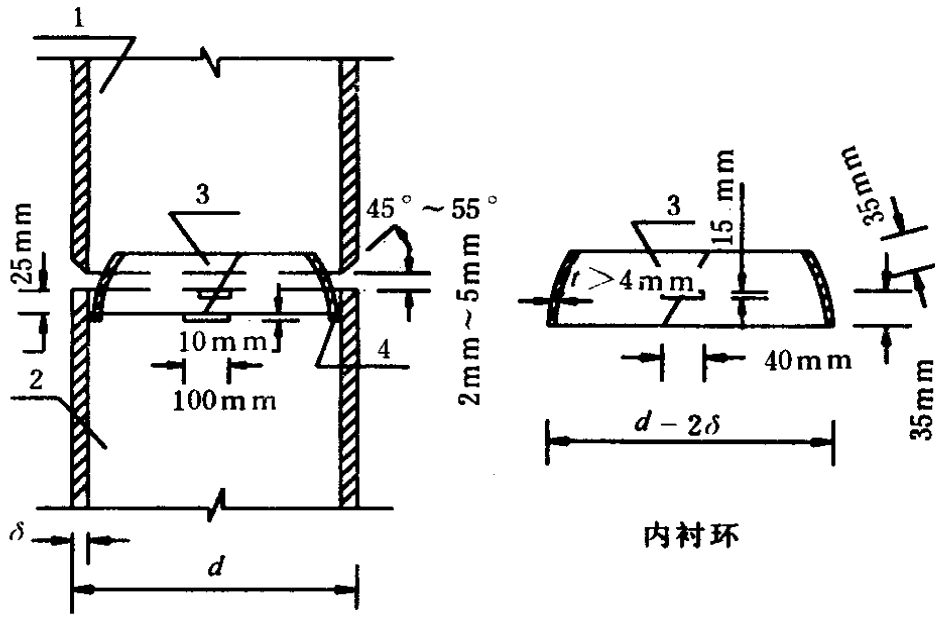
6.2.11.1 钢管桩任一横截面内，宜采用一条纵向焊缝，不得超过两条。

6.2.11.2 同一横截面内两条纵缝的间距应大于300mm，管节组装时，相邻管节纵缝距离也应大于1/8周长。

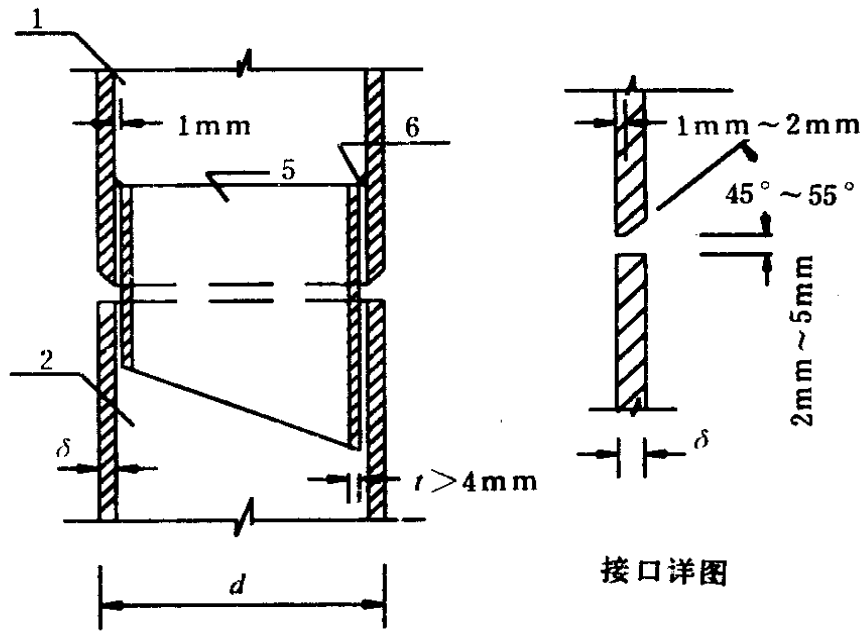
6.2.11.3 为减少桩的环缝对接数量，管节预制长度宜加大。

6.2.11.4 管壁厚度不等的环缝对接，当板厚差超过表6.2.11规定时，应在较厚的板上作出单面斜边(图6.2.11)。斜边坡度不大于1:3。

焊缝坡口尺寸应根据较薄板的厚度按第6.2.10条规定确定。



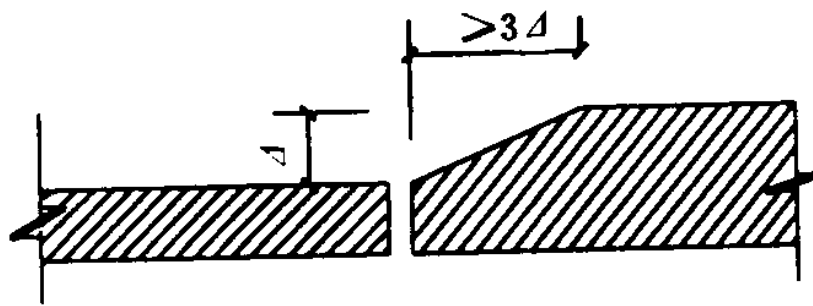
(a)



(b)

图 6.2.9 钢管桩接桩

1-上节桩；2-下节桩；3-内衬环；4-托块；5-内衬套；6-电焊



钢管桩外侧

图 6.2.11 管壁厚度不等对接

环绕对接最大允许板厚差 (mm)

表6.2.11

较薄板的厚度	> 9 ~ 12	> 12
最大允许板厚差	3	4

6.2.12 角焊缝的最大焊缝高度，不宜大于较薄板厚的1.2倍。最小焊缝高度应符合表6.2.12的规定。

主要受力构件，如吊耳板等的焊缝不得采用断续焊缝。

角焊缝的最小焊缝高度 (mm) 表6.2.12

较薄板的厚度	角焊缝的最小焊缝高度
10	6
11 ~ 16	8
17 ~ 25	10
26 ~ 40	12

6.2.13 在设计钢管桩时，应根据工程的重要性、荷载特征等，对钢管桩焊缝的检查方法和数量作出规定。

6.2.14 当预计打桩有可能出现管涌现象，可在桩身的适当部位开设排水孔，孔径可取50mm左右。

6.2.15 外海工程或沉桩困难的工程，对需要水上接桩的下节钢管桩、桩与桩帽(或横梁)采用如图6.2.7(b)形式连接的钢管桩，在沉桩完成后，宜将桩顶以下200mm ~ 300mm割除，以保证桩的强度和防腐要求。

6.3 防 腐 蚀

6.3.1 在海港工程中，根据环境对钢管桩的腐蚀程度，沿桩身可划分为五个腐蚀区。对有掩护海港，大气区和浪溅区的分界线为设计高水位加1.5m；浪溅区和水位变动区的分界线为设计高水位减1.0m；水位变动区和水下区的分界线为设计低水位减1.0m；水下区与泥下区的分界线为泥面。

河港工程中，钢管桩可参照海港工程划分腐蚀区。

6.3.2 钢管桩必须进行防腐蚀处理。防腐蚀措施有：

- (1) 外壁加覆防腐涂层或其他覆盖层；
- (2) 增加管壁预留腐蚀裕量厚度；
- (3) 水下采用阴极保护，如外加电流或牺牲阳极；

(4) 选用耐腐蚀钢种。

6.3.3 防腐蚀措施的选择，应根据建筑物的重要性、使用年限、当地腐蚀环境、结构部位、施工可能性、维护方法以及防腐材料来源等，经技术经济比较确定。

对海港工程，可按表6.3.3综合采用，或采取其他有效措施进行保护；对河港工程，可参照海港工程选用。

海港工程钢管桩的防腐措施 表6.3.3

部 位	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区	泥下区
涂 层	必须	必须	必须	可用	不需
包覆层	可用	可用	可用	不需	不需
预留腐蚀厚度	可用	必须	必须	可用	可用
阴极保护	无效	无效	可用	可用	可用

6.3.4 钢管桩的内壁与外界空间密闭隔绝时，可不考虑内壁腐蚀。

6.3.5 设计时，应考虑钢管桩在施工时期的防腐蚀措施。

6.3.6 钢管桩的预留腐蚀厚度可参照类似环境下钢结构的腐蚀实测数据确定。亦可按下式计算。

$$\Delta = V[(1 - P_t)t_1 + (t - t_1)] \quad (6.3.6)$$

式中 Δ ——在建筑物使用年限 t 年内，钢管桩所需要的管壁预留单面腐蚀厚度(mm)；

V ——钢材的单面年平均腐蚀速度(mm/a)；

P_t ——采用涂层保护或阴极保护，或采用阴极保护与涂层联合防腐措施时的保护效率(%)；

t_1 ——采用涂层保护或阴极保护，或采用阴极保护与涂层联合防腐措施时的使用年限(a)；

t ——被保护的钢结构设计使用年限(a)。

采用防腐措施的海港工程，如使用年限超过10年，其水下区以上部位的预留腐蚀厚度不应小于2mm。

6.3.7 海港工程，碳素钢的单面年平均腐蚀速度(V)可按表6.3.7取值，有条件时也可根据现场实测确定；河港工程，在平均低水位以上，年平均腐蚀速度可取0.06mm/a，平均低水位以下，年平均腐蚀速度可取0.03mm/a。

海港工程碳素钢的单面年平均腐蚀速度 表6.3.7

部 位	V (mm/a)
大 气 区	0.05 ~ 0.10
浪 溅 区	0.20 ~ 0.50
水位变动区、水下区	0.12 ~ 0.20
泥 下 区	0.05

注 表中年平均腐蚀速度适用于PH=4~10的环境条件，对有严重污染的环境，应适当增大。

当采用低合金钢时，可参照表中数值取值，但大气区应适当减小。

对水质含盐量层次分明的河口或年平均气温高、波浪大和流速大的环境，其对应部位的年平均腐蚀速度应适当增大。

6.3.8 当采用涂层保护时，在涂层的设计使用年限内其保护率可取80%~95%；当采用阴极保护时，其保护效率 P 可按表6.3.8取值；当采用涂层与阴极保护联合防护措施时，

其保护效率在平均潮位以下可取85%~95%；平均潮位以上仅按涂层的保护效率取值。

阴极保护效率P 表6.3.8

部 位	P (%)
平均潮位以上	0 P < 40
平均潮位至设计低水位	40 P < 90
设计低水位以下	P 90

6.3.9 涂层的涂刷范围和材料满足下列要求。

6.3.9.1 涂刷范围：在桩顶处，涂层应伸入桩帽(或横梁)底标高以上50mm~100mm；在水位变动区，应至设计低水位以下1.5m；在水下区，应至泥面以下1.5m。

如沉桩困难，预计桩端可能达不到设计标高时，涂刷范围应适当加大。

6.3.9.2 涂层前的除锈及底漆的质量要求应按国家现行标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》和《钢结构工程施工及验收规范》(GB50205)等规范规定。

6.3.9.3 采取阴极保护时，涂层宜与阴极保护联合作用，但涂层材料应具有耐电压和耐碱等良好性能。

6.3.9.4 阴极保护和涂层的各项技术要求均应符合有关规定。

6.3.10 采用阴极保护的工程，所需保护的每根钢管桩之间应进行导电连接。型钢或钢筋等导体与钢管桩必须采用焊接，不得采用钢丝绑扎等方法。

6.3.11 工程投产使用后，对钢管桩的防腐设施，应按设计要求进行不间断的维护和管理。

6.3.12 钢管桩防腐蚀未做规定部分应按现行行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》中有关规定执行。

7 施工一般规定

7.1 一般要求

7.1.1 桩基工程施工应具有工程平面图、桩位图、桩基结构图、地质资料、桩承载能力和沉桩质量控制标准等资料。

7.1.2 桩基工程施工前，应进行下列工作：

- (1)对勘测平面控制网点、水准点和设计图纸进行必要的交接和复核；
- (2)对施工区域有碍沉桩的水下管线、沉排或抛石棱体等障碍物进行处理；
- (3)选用适当的施工船机设备，在开阔水域施工应制定避风措施；
- (4)结合沉桩允许偏差，校核各桩是否相碰；
- (5)测量沉桩区泥面标高，并绘制平面图和断面图；

(6)根据桩位平面布置图，结合工程要求和施工条件，布置沉桩顺序，并按顺序预制加工，安排基桩运输及沉桩工作；

(7)必须了解设计对施工时期，由于打桩震动对岸坡稳定和临近建筑物的安全所提出的维护措施，并严格实施。

7.1.3 施工区在沉桩前如需挖泥，应按下列要求进行：

- (1)挖泥前应实测挖泥区水深，并绘制平面图和断面图；
- (2)应按设计和施工要求开挖，采用阶梯形分层挖泥，阶梯高度不宜过大；
- (3)码头基槽开挖超深允许值，对液性指数 $I_L < 0.75$ 或标贯击数 $N < 14$ 的I、II类土取800mm，对 $I_L < 0$ 或 $N < 30$ 的III、IV类土取500mm；

(4)当挖泥影响岸坡稳定时，应采取必要措施，同时应减少锤击沉桩对岸坡稳定影响；

- (5)挖泥后应进行复测验收。

7.1.4 在确定锤击沉桩控制贯入度时，应考虑桩的承载力、持力层变化情况、锤的性能和桩身结构强度等因素。地质情况复杂的工程，沉桩控制贯入度宜由静载荷试验、高应变动力试桩法或试沉桩等方法确定。小型工程可根据类似工程经验确定。

7.1.5 当地质情况复杂且缺乏沉桩经验时，可在施工前选择有代表性的区域进行试沉桩。试沉桩不宜少于2根，且附近应有钻孔资料。

试沉桩的规格应与工程桩一致，所用船机应与正式施工时相同。试沉桩应按附录F的要求记录。

7.1.6 通过试沉桩可对下列情况进行检验：

(1)能否穿过桩端设计标高以上的硬土层、沉排或抛石棱体等；

(2)桩端进入持力层的深度和最后贯入度；

(3)沉桩设备性能与桩身结构强度是否与沉桩地质情况相适应。

7.1.7 施工过程中如发现地质情况与勘测报告有出入时，应根据具体情况进行补充钻探。

7.2 沉桩船机设备的选择

7.2.1 沉桩船的选择应考虑下列因素。

7.2.1.1 沉桩船应满足施工作业对稳定性的要求。

7.2.1.2 根据桩位平面布置及沉桩船的尺寸，检验能否顺利进行沉桩。对墩式码头，应考虑沉桩船转向移位的可能性。

7.2.1.3 沉桩船的桩架应满足吊重要求，并应具有足够的架高。架高可按式(7.2.1)确定：

$$H = L + H_1 + H_2 + H_3 - H_4 \quad (7.2.1)$$

式中 H ——水面以上桩架有效高度(m)；

L ——桩长(m)；

H_1 ——桩锤及替打高度(m)；

H_2 ——吊锤滑轮组高度(m)；

H_3 ——富裕高度，可取1m~2m；

H_4 ——施工水深(m)。

7.2.2 锤击沉桩时，锤型的选择应根据地质、桩身结构强度、桩的承载力和锤的性能，并结合施工经验或试沉桩情况确定。当缺乏经验时，可参照附录G选用。

7.2.3 替打应按使用要求设计。为满足反复锤击的要求，替打应具有一定的刚度。替打长度应满足：沉斜桩时，替打出龙口的长度不宜超过其本身长度的1/2；沉直桩时，不宜超过本身长度的2/3。当替打兼作送桩时，替打留在龙口内的长度可适当减小。

替打顶部应设置锤垫，如木垫、钢丝绳或硬纸垫等缓冲材料。

7.2.4 为减少锤击应力和保护桩顶，在桩顶和替打之间应设置有适当弹性的桩垫。桩垫要求厚薄均匀，混凝土桩桩垫尺寸宜与桩顶截面相同。

桩垫锤击后的厚度：采用纸垫时，宜为100mm~120mm；采用木垫时，宜为50mm~100mm；采用其他材料其厚度可根据经验或试验确定。

7.2.5 碟簧桩帽适用于柴油锤。沉桩中使用碟簧桩帽可以降低桩的锤击应力峰值，减少锤击振动和噪声，提高桩锤的沉桩效率和减少断桩率。

7.3 测量定位

7.3.1 沉桩前应在陆域或水域建立测量平面与高程控制网、点。

7.3.1.1 测量控制网、点建立，应根据施工范围内原有勘察阶段控制网点、构筑物总平面图、基桩平面布置图、建筑物离岸最远距离、地物和地貌合理布设。

7.3.1.2 测量控制网、点布设的技术要求应按现行行业标准《高桩码头设计与施工

规范》有关规定执行。

7.3.2 测量控制网、点设置完毕后，应提请有关部门验收。

7.3.3 根据施工现场测量控制网、点布设情况，基桩定位精度要求、现有定位仪器设备、作业人员技术水平和沉桩船舶技术性能编写沉桩定位施工测量方案。

7.3.4 测量定位前期应进行下列准备工作：

- (1)沉桩区域近岸水深测量；
- (2)根据岸壁陡缓情况布置位移、沉降观测点；
- (3)根据建筑物离岸距离和控制网等级，可按现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》确定定位方法和选择定位仪器及装置；
- (4)根据陆域和水域测量控制点，拟建码头桩位平面布置图计算定位参数，以及绘制定位图及数据表；
- (5)定位所需的仪器设备，在施工前必须检验与校正，并做记录。

7.3.5 沉桩定位中应注意以下事项：

- (1)采取任何一种定位方法应有多余观测；
- (2)角度前方交会，相邻两台仪器视线夹角应控制在 $30^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 范围以内；
- (3)三台仪器作角度交会时，所产生的空间误差三角形，其重心距各三角边距离允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ；
- (4)定位中，采用水准仪测设桩的定位标高和停锤标高时，宜使前、后视等距和减少仪器i角；
- (5)应及时测定沉桩施工偏位值与竣工偏位；
- (6)为鉴定沉桩质量，分析沉桩过程中可能发生的问题，每根桩应按附录H记录。全部基桩沉放后应按附录J要求做好综合记录。

7.3.6 锤击沉桩记录应符合下列要求：

- (1)锤击记录应分阵次，阵次划分以桩身每下沉1m为准，当桩端穿越硬夹层或进入硬土层时，宜取 $0.1\text{m} \sim 0.5\text{m}$ 为一阵。当桩端接近控制标高时应取 0.1m 为一阵；
- (2)打入硬土层的桩，最后贯入度可按最后 0.1m 或最后10击的平均每击下沉量为准；
- (3)对沉桩过程中发生的异常现象，如断桩、桩身破损、溜桩、贯入度反常和桩周冒泡等均应记录。

7.3.7 水冲沉桩记录应符合下列要求：

- (1)水冲锤击沉桩工序分为冲水下桩、压锤、边冲边击和停水锤击等；
- (2)边冲边击阵次以 1.0m 为准，最后停水锤击以 0.1m 为准；
- (3)沉桩时的异常现象，如风压异常、水压异常、冲水管堵塞、排泥不畅及机具发生故障等，均应按附录K要求做记录。

8混凝土桩施工

8.1 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩的制作

8.1.1 预制混凝土桩的制作工艺除按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTJ268)执行外，尚应符合下列要求：

- (1)在露天台座制作预应力混凝土桩，应采取措施保证预加应力值，并减少钢筋张拉与混凝土浇筑两工序间温度差的影响，避免在浇筑混凝土时，由于气温升高而增加预应力损失，或由于气温降低使钢筋发生冷断事故；
- (2)浇筑桩身混凝土必须连续进行，不得留有施工缝；
- (3)利用充气胶囊制桩，在使用前应对胶囊进行检查，漏气或质量不合格者不得使用，并应采取有效措施，控制胶囊上浮及偏心。

8.1.2 如采用拼接的预制桩时，上下两节宜同槽拼制。拼接处的预埋铁件的加工制作应符合设计要求，接头应平整密贴。上下节桩拼制时纵轴线弯曲矢高应符合表8.1.3规定，并在桩上编号，以便对号吊运及接桩。

8.1.3 预制混凝土桩的允许偏差应符合表8.1.3规定。

偏差名称		允许偏差
长度偏差		± 50mm
横截面	边长偏差	± 5mm
	空心桩空心(管芯)直径偏差	± 10mm
	空心(管芯)中心与桩中心偏差	± 20mm
桩尖对桩纵轴的偏差		< 15mm
桩顶面与桩纵轴线垂直，其最大倾斜偏差不大于桩顶横截面边长		1%
桩顶外伸钢筋长度偏差		± 20mm
桩纵轴线的弯曲矢高	不大于桩长	0.1%
	且不大于	20mm
混凝土保护层		< +5mm

8.1.4 预制混凝土桩的质量应符合下列要求。

8.1.4.1 桩身表面由于干缩产生细微裂缝，其裂缝宽度不得超过0.2mm；深度不得超过20mm，裂缝长度不得超过1/2桩宽。

8.1.4.2 桩身缺陷的允许值符合下列要求：

(1)在桩表面上的蜂窝、麻面和气孔的深度不超过5mm，且在每个面上所占面积的总和不超过该面面积的0.5%；

(2)沿边缘棱角破损的深度不超过5mm，且每10m长的边棱角上只有一处破损，在一根桩上边棱破损总长度不超500mm。

8.1.5 对不符合第8.1.4条规定的桩，必须进行修补，在满足质量要求后，方可使用。

8.1.6 在预制桩桩顶附近应标明工程名称、类型、尺寸、混凝土浇筑日期及编号。

8.1.7 为避免施工过程中因基桩损坏而影响工程进度，根据锤型、沉桩方法、土质情况、基桩数量和运输条件等，应有一定数量的备用桩。

8.2 预应力混凝土管桩制作及拼接

8.2.1 后张法预应力混凝土大直径管桩的钢筋骨架制作和安装除应符合设计要求和有关规范规定外，钢筋保护层垫块应牢固。

8.2.2 后张法预应力混凝土大直径管桩混凝土浇筑必须连续进行，在管节中不得留施工缝。

8.2.3 后张法预应力混凝土大直径管桩的管节质量应符合下列要求。

8.2.3.1 管节的外壁面不应产生裂缝。内壁面由于干缩产生的细微裂缝，其缝宽不得超过0.2mm，深度不宜大于10mm，长度不宜超过60mm。

8.2.3.2 管节混凝土表面应密实，不得出现露筋、空洞和缝隙夹渣等缺陷。

8.2.3.3 管节表面的蜂窝、麻面、砂线等缺陷应符合表8.2.3—1规定。

8.2.3.4 预制管节允许偏差应符合表8.2.3—2规定。

管节表面缺陷限值

表8.2.3—1

工程部位 缺陷	限值	
	大气区、浪城区、水位变动区及 陆上结构的外露部位	水下区及泥面以下部
蜂窝面积	小于所在面积的2‰,且一处面积 不大于0.4m ²	小于所在面积的2‰,且一处面积 不大于0.4m ²
麻面砂斑面积	小于所在面积的5‰	小于所在面积的10‰
砂线长度	每10m ² 累积长度不大于0.3m。	-

预制管节允许偏差

表8.2.3—2

项 目	允许偏差 (mm)	项 目	允许偏差 (mm)	项 目	允许偏差(mm)
管节外周长	+15	管节壁厚	+10	管壁端面倾斜	/100
	-5		-0	管节椭圆度	不大于5
管节长度	±3	管节端面倾斜	d/1000	预留孔直径	±3

注：d——管节直径； ——管壁厚度。

8.2.4 后张法预应力混凝土大直径管桩拼接所采用的材料应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》外，并应满足下列要求：

(1) 钢绞线的种类、钢号和直径应符合设计规定，机械性能应符合国家有关标准。运输堆放和保存应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTJ269)的有关规定；

(2) 钢绞线不应采用氧气切割下料，严禁使用扭曲、损伤或腐蚀的钢绞线，并不得与油脂等有害杂质接触；

(3) 管桩拼接接头的粘接剂强度必须符合设计要求；

(4) 灌浆用水泥应采用与管节所用水泥同标号。

8.2.5 后张法预应力混凝土大直径管桩的管节在拼接时，应符合下列规定：

(1) 管节混凝土强度应达到设计强度，且混凝土龄期不应少于14d；

(2) 管节端面的浮浆应清除并磨平。表面缺陷应采用环氧砂浆修补。预留孔孔内的污物杂质，应冲洗干净，孔内积水应予排除。

8.2.6 后张法预应力混凝土大直径管桩的管节拼接时钢绞线张拉应按以下要求进行：

(1) 张拉时，对称的二束钢绞线应同时张拉，并应分组同步进行，桩长超过40m应两端同时张拉；

(6) 锚具应按现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204)及现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》规定的标准验收，其锚固力低于钢绞线破坏强度90%时严禁使用；

(3) 张拉过程中应按要求记录，张拉预应力的实测值与设计规定值的偏差不应超过±5%。

8.2.7 后张法预应力混凝土大直径管桩拼接后的管桩允许偏差应符合表8.2.7规定。

管桩制作允许偏差

表8.2.7

项 目	允许偏差(mm)	项 目	允许偏差(mm)
管桩长度	±100	拼接处错牙	6
桩顶倾斜	<0.5% <i>d</i>	拼缝处弯曲矢高	8

8.2.8 后张法预应力混凝土大直径管桩的浆体应满足灌浆工艺的要求，并符合下列规

定：

- (1)当温度在10 ~ 30 时，30min时间内的流动度应保持在16s ~ 20s之间；
- (2)浆体无约束膨胀应控制在5% ~ 10%之内；
- (3)浆体的水灰比不应大于0.4，且28d强度应大于40MPa；
- (4)气温低于5 时不宜进行灌浆。

8.2.9 后张法预应力混凝土大直径管桩预留孔灌浆后孔内必须密实，浆体强度达到设计强度的70%，且浆体和钢绞线的粘结力大于0.2MPa时，方可切割钢绞线移动和吊运管桩。浆体强度达到100%设计强度时，管桩才能出厂。管桩出厂前必须进行验收。

8.2.10 制作先张法预应力混凝土管桩的原材料、混凝土强度和接头的技术要求，以及管节的外观质量和尺寸允许偏差等应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》规定。拼接后的管桩允许偏差应符合表8.2.7规定。

8.2.11 预应力混凝土管桩应进行受弯试验，测出抗裂弯矩，对桩身质量进行检验。每1000根管桩或每年随机抽样试验桩数量为1根。对重要工程，试验桩数可按需要确定。

8.3 场内吊运、堆存和运输

8.3.1 桩吊运时，桩身混凝土强度应符合设计要求。如需提前吊运，应经验算。

8.3.2 吊桩时桩身可采用绳扣捆绑或夹具夹持，其吊点位置距离设计位置允许偏差为 $\pm 200\text{mm}$ 。为防止绳扣和桩角破坏，吊点处宜用麻袋或木块等衬垫。

8.3.3 吊桩时应使各吊点同时受力，徐徐起落，减少震动，防止桩身裂损。

8.3.4 场内宜采用钢桁架吊运，桁架应具有必要的刚度，防止吊桩时产生过大变形，吊索应与桩纵轴线垂直。当采用起重船(机)吊运时，吊索与桩纵轴线夹角不应小于45°。

8.3.5 当采用其他形式吊运时，应按桩身实际受力情况进行验算。对按多点吊设计的桩，应采取拖运时保持全部支点在同一平面上。

8.3.6 桩的堆存应符合下列规定：

(1)存放场地应平整、坚实，减少产生不均匀沉降；

(2)按二点吊设计的桩，可用二点支垫堆存，支垫位置按设计吊点位置确定，偏差

不宜超过200mm。当桩长期堆存时，为避免桩身挠曲，宜采用多点支垫；

(3)按四点吊或四个吊点以上设计的桩，可采用多支点堆存。堆存时垫木应均匀放置。桩两端悬臂长度不得大于设计规定；

(4)桩多层堆存时，堆放层数应按地基承载力、垫木强度和堆垛稳定性等确定。各层垫木应位于同一垂直面上，堆放层数不宜超过三层；

(5)用岸坡坡顶作为临时堆存场地时，应考虑岸坡的稳定性，防止岸坡发生滑移。

8.3.7 驳船装运基桩时，应符合下列规定：

(1)根据施工时的沉桩顺序和吊桩的可能性，按装桩图要求分层装驳；

(2)驳船装桩应采用多支垫堆放，垫木均匀放置，并适当布置通楞，垫木顶面应在同一平面上；

(3)装桩堆放形式应使驳船在装桩、运输和吊起时保持平稳。

8.3.8 装驳后需作长途运输时应符合下列规定：

(1)对船体进行严格检查，采取必要的加固措施；

(2)如有风浪影响，应水密封舱；

(3)应采用加撑和系绑等措施，防止因风浪影响发生基桩倾倒；

(4)管桩装驳应采用特殊支架，防止管桩滚动，必要时采用绳系绑等措施，防止坠落。

8.4 沉 桩

8.4.1 水上沉桩应根据地形、水深、风向、水流和船舶性能等具体情况，充分利用有利条件，使沉桩工作能正常进行。

8.4.2 沉桩船的锚缆布置应满足下列要求：

(1)一般在船两侧分别抛八字锚，前后设中心锚缆，以保持船身平稳，并使操作方便；

(2)沉桩时应防止走锚。斜桩沉放应加强前后中心锚缆，必要时可采用双缆；

(3)根据抛锚区的土质、水深、水流、风向及锚重确定合适的抛锚距离；

(4)近岸沉桩可在陆上设置地笼，地笼的结构及大小按缆索的拉力确定，必要时可设置各地笼的通缆。

不宜在受潮水淹没土层中埋设地笼，陆上建筑物未经验算，严禁带缆；

(5)桩船锚缆拉力可按绞锚机拉力的2—3倍采用。

8.4.3 在开阔水域施工，当抛锚和埋设地笼有困难时，可按风向和水流等情况设置锚碇浮筒，锚碇重量和浮筒大小可按有关规定或经验确定。

8.4.4 驳船停泊及锚缆布置，应便于沉桩船正常作业，避免各船锚缆互相干扰，并与沉完的桩保持一定距离，不得碰桩。

8.4.5 船只抛锚应考虑对通航的影响。各锚缆布置点应设置明显标志，或采用其他安全措施。

8.4.6 预制混凝土桩在锤击沉桩前应符合下列要求：

(1)桩身混凝土强度达到设计强度；

(2)自然养护龄期不得少于28d。当采取早强措施时，经论证自然养护龄期可适当减少。

8.4.7 沉桩船吊桩时，其吊点应按设计规定布置。

采用四点吊(图8.4.7)时，下吊索长度可取 $0.5L \sim 0.6L$ ，桩较长时不宜小于 $0.5L$ 。吊桩高度 H' 不宜小于 $0.8L$ 。

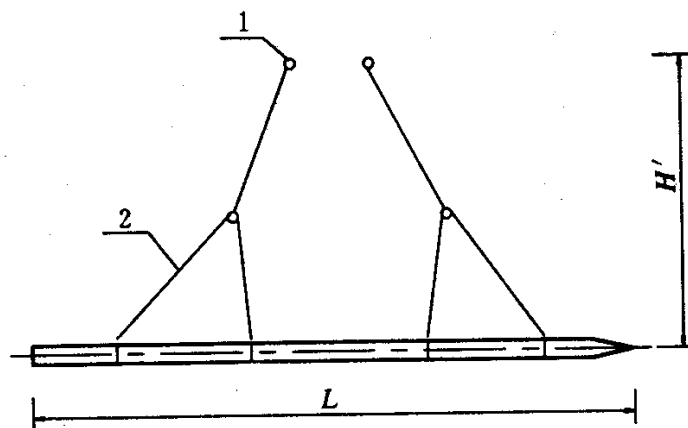


图 8.4.7 四点吊示意图

1-顶滑轮；2-下吊桩索

8.4.8 当驳船使用溜缆协助沉桩船吊桩时，应配合作业，注意保持桩身平稳起吊。

8.4.9 沉桩船吊起桩身至适当高度后再立桩入龙口。沉桩船就位时，应掌握水深情况，防止桩尖触及泥面，使桩身折裂。

8.4.10 直桩下桩过程中，桩架应保持垂直。斜桩下桩过程中，桩架宜与桩的设计倾斜度保持一致。

8.4.11 水上沉桩需接桩时，应控制下节桩的桩顶标高，使接桩不受潮水影响，应避免

使下节桩桩端置于软土层上。当下节桩入土较浅时，应采取措施防止倾倒。接桩时，上节和下节桩应保持在同一轴线上。接头拼接应紧密贴实和牢固，经检查符合要求后，方可继续沉桩。

8.4.12 采用法兰接桩，应符合下列规定：

- (1) 法兰接合处，可加垫沥青纸等材料，如法兰有不密贴处，应用薄钢片塞紧；
- (2) 法兰螺栓应逐个拧紧，并加设弹簧垫圈或加焊，防止锤击时螺栓松动。

8.4.13 锤击沉桩过程中应满足下列要求：

- (1) 锤击沉桩时，桩锤、替打、送桩和桩宜保持在同一轴线上。替打应保持平整，避免产生偏心锤击；
- (2) 当船行波影响沉桩船稳定时，宜暂停锤击；
- (3) 防止背板蹙桩，对斜桩尤应注意；
- (4) 如出现贯入度反常、桩身突然下降、过大倾斜、移位、桩身出现严重裂缝和破碎掉块，均应立即停止锤击，及时查明原因，采取有效措施；
- (5) 不得用移船方法纠正桩位；
- (6) 沉桩船进退作业，应注意锚缆位置，防止缆索绊桩。如桩顶被水淹没。应设置标志。

8.4.14 斜坡上沉桩，应掌握桩外移的规律，并根据土质、坡度、水深、水流、挖泥以及船舶平衡等情况，斜桩尚应考虑自重的影响，结合施工实践经验，桩身宜向岸移一定距离下桩，以使沉桩后桩位符合设计要求。

8.4.15 锤击沉桩，应考虑锤击振动和挤土等对岸坡稳定或临近建筑物的影响，可根据具体情况采取下列措施：

- (1) 采取有利边坡和临近建筑物稳定的施工方法和程序；
- (2) 应控制打桩速率，对于灵敏度高的土，尤应注意；
- (3) 当坡脚挖泥超深大于允许值时，应采取措施；
- (4) 当岸坡稳定性较差时，应采取削坡减载、间隔跳打、停停打打和高潮位施打等措施；
- (5) 应对岸坡和邻近建筑物位移和沉降等进行观察，及时记录。如有异常变化，应停止沉桩并研究处理措施。

8.4.16 为防止在风浪、水流、土坡变化及斜桩自重作用下发生桩倾斜、偏位和折裂，可采取下列措施：

- (1) 沉桩后，宜及时采用夹桩木夹住，斜桩应用拉条固定，叉桩宜用方木顶撑；
- (2) 当预计出现台风或大浪时，必须检查夹桩木是否夹紧，并采取必要的加固措施；
- (3) 当土坡变形影响桩稳定时，必须进行分析，采取有效措施防止基桩倾斜或折裂。

8.4.17 锤击沉桩，应考虑锤击振动对新浇筑混凝土的影响；当混凝土强度未达到5MPa，距新浇筑的混凝土30m范围内，不得进行沉桩。

8.4.18 在砂土地基锤击沉桩困难时，可采用水冲锤击沉桩。水冲沉桩宜采用内冲内排法或内冲外排法，并符合下列要求：

- (1) 内冲内排法，由水管喷咀向桩端土层射水，泥砂用压缩空气辅助沿桩内空腔从桩顶排出。喷咀内留长度视桩径、管径和腔径确定；
- (2) 内冲外排法，由水管喷咀向桩端土层射水，泥砂沿桩周围空隙排水。喷咀宜伸出桩尖200mm左右；

(3) 水冲锤击沉桩所需冲水、排泥设备应视土质、入土深度、锤型和桩型等确定。缺乏经验时，可按附录L选用。

8.4.19 水冲锤击沉桩，应根据土质情况随时调节冲水压力，控制沉桩速度。

8.4.20 为保证桩的承载力，当桩端沉至距设计标高为下列距离时，应停止冲水，将水压减至0MPa~0.1MPa，并改用锤击。

- (1) 桩径或边长 600mm时，为1.5倍桩径或边长；
- (2) 桩径或边长 > 600mm时，为1.0倍桩径或边长。

8.4.21 用水冲锤击沉桩后，应及时与邻桩或固定结构夹紧，防止倾斜位移。

8.4.22 严禁在已沉放的桩上系缆。在已沉放桩区两端应设置标志，夜间设置红灯。

8.4.23 桩顶标高与设计标高不符或桩顶破损时，应按下列要求进行处理：

(1) 桩顶标高高于设计标高或桩顶混凝土裂损部分应予凿除。凿除时应防止桩顶混凝土掉角、松动及开裂；

(2) 桩顶凿毛后的标高允许偏差为+10mm或-30mm。现场浇筑桩帽或墩式码头的桩顶凿毛后的标高允许偏差，可根据结构要求确定；

(3) 桩顶低于设计标高时，可采用局部降低桩帽标高，或接桩进行处理，但接高部分应满足设计要求。

8.5 沉桩控制标准及检测

8.5.1 锤击沉桩控制应根据地质情况、设计承载力、锤型、桩型和桩长综合考虑，并满足下列要求：

(1) 设计桩端土层为一般粘性土时，应以标高控制。桩沉放后，桩顶标高允许偏差为+100mm，-0.0mm；

(2) 设计桩端土层为砾石、密实砂土或风化岩时，应以贯入度控制。当沉桩贯入度已达到控制贯入度，而桩端未达到设计标高时，应继续锤击贯入100mm或锤击30~50击。其平均贯入度不应大于控制贯入度，且桩端距设计标高不宜超过1m~3m(硬土层顶面标高相差不大时取小值)。超过上述规定由有关单位研究解决；

(3) 设计桩端土层为硬塑状的粘性土或粉细砂时，应以标高控制为主，当桩端达不到设计标高时应用贯入度作为校核。

当桩端已达到设计标高而贯入度仍较大时，应继续锤击使其贯入度接近控制贯入度，但继续下沉的深度应考虑施工水位的影响。

当桩端距离设计标高尚较大，而贯入度小于控制贯入度时，可按(2)项执行。

8.5.2 沉桩后允许偏差符合下列规定。

8.5.2.1 水上沉桩桩顶偏位应符合表8.5.2的规定。

水上沉桩允许偏差(mm) 表8.5.2

沉桩区域 \ 桩型	混凝土方桩		预应力混凝土大直径管桩		钢管桩	
	直桩	斜桩	直桩	斜桩	直桩	斜桩
内河和有掩护近岸水域	100	150	150	200	100	150
近岸无掩护水域	150	200	200	250	150	200
离岸无掩护水域	200	250	250	300	250	300

注：近岸指距岸 500m，离岸指距岸 > 500m，
直径 600mm的管桩按方桩允许偏差执行；
墩台中间桩可按上表规定放宽50mm；

表列允许偏差不包括由锤击震动等所引起的岸坡变形产生的基桩位移。

8.5.2.2 桩沉完后，应及时测定处于自由状态的桩顶偏位，并记录，如偏位值较大应及时与设计联系。在夹桩铺底板后，应再次测定桩顶偏位，并以此作为竣工偏位的最终数值。在夹桩时严禁拉桩。

8.5.2.3 沉桩区有柴排、木笼、抛石棱体、浅层风化岩，以及采用长替打沉桩、水

冲沉桩或其他特殊地区的桩位允许偏差值，可会同有关单位研究确定。

8.5.2.4 桩的纵轴线倾斜度偏差不宜大于1%。桩的纵轴线倾斜度偏差超过1%，但不大于2%的直桩不应超过10%。

8.5.3 锤击沉桩时，预应力混凝土桩不得出现裂缝，如出现裂缝，应根据具体情况研究处理。

8.5.4 下列情况采用动力试验法对桩进行检测。

8.5.4.1 当桩端标高不符合第8.5.1条件规定，影响桩的垂直承载力时，宜采用高应变动力试验法对单桩垂直承载力进行检测。

8.5.4.2 对预制混凝土桩，在沉桩中发生贯入度过大等异常情况，或其他影响桩身结构可靠性时，宜采用低应变动力试验法对桩身质量进行检测。检测桩数可取总桩数的5%~10%，并不得少于10根。

8.5.4.3 采用动力试验法对桩进行检测时，应符合国家现行标准规定。

9 钢管桩施工

9.1 制 作

9.1.1 制作钢管桩所用的钢材应符合设计要求，并应有出厂合格证。材质不符合质量标准的不得使用。

9.1.2 钢管桩的制作有卷制直焊缝和螺旋焊缝两种型式，可根据使用要求和生产条件选用。

9.1.3 钢板放样下料时，应根据工艺要求预放切割、磨削刨边和焊接收缩等的加工余量。钢板卷制前，应清除坡口处有碍焊接的毛刺和氧化物。

9.1.4 螺旋焊缝钢管所需钢带宽度，可按所制钢管的直径和螺旋成形的角度确定。钢带对接焊缝与管端的距离不得小于100mm。

9.1.5 管节外形尺寸允许偏差应符合表9.1.5规定。

管节外形尺寸允许偏差

表9.1.5

偏差名称	允许偏差	说 明
钢管外周长	$\pm 0.5\%$ 周长，且不大于10mm	测量外周长
管端椭圆度	$\pm 0.5\%d$ ，且不大于5mm	两相互垂直的直径之差
管端平整度	2mm	多管节拼接时，以整桩质量要求为难
管端平面倾斜	小于 $0.5\%d$ ，并不得大于4mm	
桩管壁厚度	按所用钢材的相应标准规定	

9.1.6 钢管桩宜在工厂整根制作或工厂分段制作后在现场陆上拼接。钢管桩分段长度可按最大运输能力考虑，以减少现场拼接数量。

9.1.7 管节拼装定位，应在专门台架上进行。台架应平整、稳定。管节对口应保持在同一轴线上进行。多管节拼接应减少累积误差。

9.1.8 管节对口拼装时，相邻管节的焊缝必须错开 $1/8$ 周长以上。相邻管节的管径差应符合表9.1.8规定。

相邻管节的管径差

表9.1.8

管径(mm)	相邻管节的管径差(mm)	说 明
700	2	用两管节外周长之差表示，此差应 2π (mm)
> 700	3	用两管节外周长之差表示，此差应 3π (mm)

9.1.9 管节对口拼接时，如管端椭圆度较大，可采用夹具和楔子等辅助工具校正。相邻管节对口的板边高差（图9.1.9）应符合下列规定：

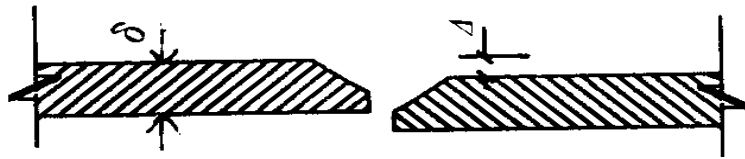


图 9.1.9 管节对口拼接

- (1)板厚 10mm时，不超过1mm；
- (2)10mm < 20mm时，不超过2mm；
- (3) > 20mm时，不超过 $t/10$ ，且不大于3mm。

9.1.10 管节对口拼装检查合格后，应进行定位点焊。点焊高度应小于设计焊缝高度的2/3，点焊长度宜取40mm~60mm。点焊时所用的焊接材料和工艺均应与正式施焊相同。点焊处的缺陷应及时铲除，不得将其留在正式焊缝中。

9.1.11 管节拼装所用的夹具等辅助工具，不应妨碍管节焊接时的自由伸缩。

9.1.12 钢管桩成品的外形尺寸允许偏差应符合表9.1.12规定。

钢管桩外形尺寸允许偏差 表9.1.1.2

偏差名称	允许偏差 (mm)
桩长偏差	+300 -0.0
桩纵轴线的弯曲矢高	不大于桩长的0.1%，并不得大于30

9.1.13 钢管桩成品外观表面不得有明显缺陷，当缺陷深度超过公称壁厚1/8时，应予修补。

9.1.14 整桩或管节出厂(场)均应有产品合格证明书。

9.2 焊 接

9.2.1 焊接材料的型号和质量应符合设计要求，并附有出厂合格证明书。必要时应按有关规定进行检验。

9.2.2 焊条、焊丝和焊剂应存放在干燥处。焊前应按产品说明书要求进行烘焙，并在规定时间内使用。

9.2.3 焊接前应将焊接坡口及其附近20mm~30mm范围内的铁锈、油污、水气和杂物清除干净。

9.2.4 焊接应按焊接工艺所规定的方法、程序、参数和技术措施进行，以减少焊接变形和内应力，保证质量。

焊接必须由具有资质证书的焊工担任。施工前应进行焊接试验。焊接试验所采用的工艺、方法和材料，应与正式焊接时相同。

9.2.5 管节对接宜采用多层焊。封底焊时宜用小直径的焊条或焊丝施焊。每层焊缝焊完后，应清除熔渣并进行外观检查，如有缺陷应及时铲除，多层焊的接头应错开。

9.2.6 为减少变形和内应力，管节对口焊接时宜对称施焊。

9.2.7 焊接宜在室内进行。现场拼装焊接时应采取防晒、防雨、防风和防寒等措施。

9.2.8 普通低合金钢在环境温度0℃焊接时，应对焊接两侧各100mm范围内预热到手感温度。手工焊时，应采用碱性低氢型焊条。

环境温度低于-10℃时，不宜进行焊接。当采取有效技术措施，确能防止冷裂缝产生时，可不受此限。

9.2.9 对接焊缝应有一定的加强面，加强面高度和遮盖宽度应符合表9.2.9规定。

当采用双面焊或单面焊双面成型工艺时，管内亦应有一定的加强高度，可取1mm左右。

当采用带有内衬板的v形剖面单面焊时，应保证衬板与母材融合。

9.2.10 角焊缝高度的允许偏差应为+2mm，-0.0。

9.2.11 采用对接双面焊时，反面焊接前应对正面焊缝根部进行清理，铲除焊根处的熔渣和未焊透等缺陷，清理后的焊接面应露出金属光泽，再行施焊。

9.2.12 焊接工作完成后，所有拼装辅助装置、残留的焊瘤和熔渣等均应除去。

9.2.13 对所有焊缝均应进行外观检查。焊缝金属应紧密，焊道应均匀，焊缝金属与母材的过渡应平顺，不得有裂缝、未融合、未焊透、焊瘤和烧穿等缺陷。对焊缝应进行无损探伤检查。

9.2.14 焊缝无损探伤的检测方法和数量应按设计要求确定。当设计未作规定时，可按表9.2.14规定选用。

对接焊缝加强尺寸 (mm)

表 9.2.9

管壁厚度	<10	10~20	>20
项 目			
高 度 C	1.5~2.5	2~3	2~4
宽 度 e	1~2	2~3	2~3
示 意 图			

焊缝探伤的方法和数量

表9.2.14

探伤数量	探伤方法	超声波	射线照相
环 缝		10%	1%~2%
纵 缝		5%	超声波有疑问时，增加射线照相检查

注： T型焊缝、十字型焊缝，焊接时的起弧点及近桩顶环缝应作重点检查；

探伤数量可视工程的重要性、荷载特性、工厂焊接质量、焊接工艺、材料和技术熟练程度作适当增减；

现场拼装焊缝的探伤数量应适当增加；

柔性靠船桩等孤立建筑物，探伤数量应增加，增加数量根据实际情况确定；

表中检测数量以每根桩的焊缝总长度计算。

9.2.15 焊缝外观缺陷的允许范围和处理方法应按表9.2.15规定采用。

焊缝外观缺陷的允许范围和处理方法

表9.2.15

缺陷名称	允 许 范 围	超过允许的处理方法
咬 边	深度不超过0.5mm，累计总长度不超过焊缝长度的10%	补 焊
超 高	2mm~3mm	进行修正

表面裂缝未融合，未焊透	不允许	铲除缺陷后重新焊接
表面气孔、弧坑、夹渣	不允许	铲除缺陷后重新补焊

9.2.16 超声波和射线照相探伤的结果应符合现行国家标准《钢结构工程施工及验收规范》(GB20205)及《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(GB3323)的等级标准。

9.2.17 当探伤结果不符合第9.2.16条规定时，应对不合格焊缝段的两端分别向外作与该段长度相等的延伸补充探伤检查，并按下列规定修补：

(1)当补充检查的焊缝合格后，应对原不合格的焊缝段进行修补；

(2)当补充检查的焊缝仍不符合规定时，应进行研究，采取有效措施，确保焊缝质量；

(3)对修补后的焊缝仍应进行探伤检查，不合格焊缝的修补次数不宜超过两次。

9.2.23 对钢管桩的焊缝应进行焊接接头的机械性能试验，试验要求应符合表9.2.18规定。试件可在钢管上取样，也可采用试板进行。在钢管上取样时，试样应垂直于焊缝截取。采用试板时，试板的焊接材料和焊接工艺与正式焊接时相同。

焊接接头的试验项目及要求 表9.2.18

试验项目	试验要求	试件数量
抗拉强度	不低于母材的下限	不少于2个
冷弯曲度，弯心直径d	低碳钢 120°，d=2	不少于2个
	低合金钢 120°，d=3	
冲击韧性	不低于母材的下限	不少于3个

焊接接头机械性能试验取样及试验方法应按现行国家标准《焊接接头机械性能试验方法》(GB2649)等规范执行。

9.3 涂层施工

9.3.1 钢管桩防护层所用涂料的品种和质量均应符合设计要求。

9.3.2 涂层施工应在陆上进行。涂刷前应根据涂料的性质和涂层厚度确定合适的施工工艺。涂刷时应符合下列规定：

(1)涂底前应将钢管桩表面的铁锈、氧化层、油污、水气及杂物清理干净。钢管桩宜采用喷丸、喷砂和酸洗等工艺除锈，除锈应符合有关规范规定；

(2)钢管桩的涂底应在工厂进行。现场拼接的焊缝两侧各100mm范围内，在焊接前不涂底，待拼装焊接后再行补涂。桩顶埋入混凝土时，涂层的涂刷范围应符合设计要求；

(3)各层涂料的厚度或涂刷层数，应符合设计规定，必要时应采用测厚仪检查。各涂层应厚薄均匀，并有足够的固化时间。各层涂刷的间隔时间可按产品说明书的要求或通过试验确定；

(4)在运输和吊运过程中，涂层有破损时应及时修补。修补时采用的涂料应与原涂层材料相同。

9.3.3 施工场地应具有干燥和良好的通风条件，并避免直接受烈日暴晒。在低温和阴雨条件下施工，应采取必要的措施，确保施工质量。当桩身表面潮湿时，不得进行喷涂。

9.3.4 对已沉完的钢管桩进行涂层修补时，应考虑潮水的影响。修补前应作好除锈和干燥等工作，并铲除已松动的旧涂层。修补所用的涂料应具有厚浆及快干的特点。平均潮位以下的涂层修补，应采取有效措施，确保涂层固化及具有良好的附着力。

9.4 堆存和运输

9.4.1 钢管桩应按不同的规格分别堆存。堆放形式和层数应安全可靠，避免产生纵向变形和局部压曲变形。长期堆存时应采取防腐蚀等保护措施。

9.4.2 钢管桩在起吊、运输和堆存过程中，应避免由于碰撞、摩擦等原因造成涂料破

损、管端变形和损伤。

9.4.3 水上运输钢管桩宜采用驳船运输，亦可采用密封浮运或其他方式运输。

采用驳船运输时，驳船必须具备足够的长度和稳定性。钢管桩宜放置在半圆形专用支架上，必要时可用缆索紧固。

当采用密封浮运时，应满足水密要求，并考虑风浪的影响，密封装置应便于安装和拆卸。

9.5 沉 桩

9.5.1 锤击沉放钢管桩时，锤的选择除应考虑第7.2.2条因素外，尚应考虑钢管桩桩尖型式的影响，可参照附录G进行选择。

9.5.2 钢管桩锤击沉桩宜采用钓钟式替打(图9.5.2(a))。对于小口径钢管桩或陆上施打的钢管桩也可采用锅盖式替打(图9.5.2(b))或其他型式替打。替打的导向板宜插入钢管桩内300mm~500mm。

9.5.3 环境温度在-10 以下时，应避免进行钢管桩锤击沉桩。

9.5.5 沉放封闭式桩尖的钢管桩时，应采取必要措施防止上浮。在砂土中沉放开口或半封闭桩尖的钢管桩时应防止管涌。

9.5.4 水上接桩应符合下列规定：

- (1)沉桩船应保持平稳，上、下节应保持在同一轴线上；
- (2)焊接工作平台应牢固，避免受潮水及波浪的影响；
- (3)下节桩锤击后如有变形和破损时，接桩前应将变形和破损部分割除，并用砂轮机磨平，同时符合表9.1.5规定；
- (4)对口定位点焊应对称进行；
- (7)接桩前应做好充分准备，避免接桩时间过长。

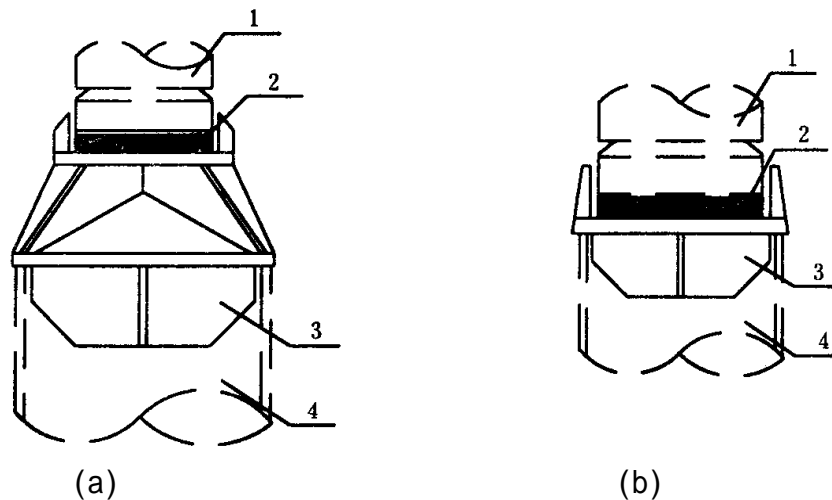


图. 9.5.2 钢管桩锤击沉桩替打型式示意图

(a) 钓钟式替打；(b) 锅盖式替打

1—桩锤；2—锤垫；3—导向板；4—钢管桩

9.5.6 沉桩时，如桩顶有损坏或局部压屈，应予割除，并接长至设计标高。

9.5.7 钢管桩的沉桩工作除应符合上述规定外，尚应符合本规范中混凝土桩施工部分的有关规定。

10 垂直静载荷试验

10.1 一般要求

10.1.1 本规定适用于以锚桩法进行静载荷试验。用其他方法进行静载荷试验时可参照

执行。

10.1.2 试验桩的位置应根据工程总体布置、工程进度、地质、地形、水文和设计要求等确定。试验桩的入土深度和进入持力层深度应具有代表性。

10.1.3 试验桩、锚桩和基准桩，在沉桩过程中应按附录F要求记录。试验桩和锚桩的桩顶偏位不应大于100mm，试验桩纵轴线倾斜度不应大于1/200，锚桩纵轴线倾斜度不应大于1/100。

10.1.4 试验桩的数量应根据地质条件、桩的材质、桩径、桩长、桩尖型式和工程总桩数等确定。总桩数在500根以下时，试桩不应少于2根。总桩数每增加500根，宜增加1根试桩。如地质条件复杂，桩的类型较多或其他原因，可按地区性经验酌情增减。

10.1.5 试验桩与锚桩宜对称布置，使其受力均匀。锚桩与试验桩的中心距不应小于4倍桩径或桩宽；基准桩与试验桩的中心距不应小于4倍桩径或桩宽；基准桩与锚桩的中心距不应小于3倍桩径或桩宽。

10.1.6 试验桩在沉桩后到进行加载的间歇时间，对粘性土不应少于14d；对砂土不应少于3d，对水冲沉桩不应少于28d。

10.1.7 试验前应根据设计对试桩要求进行下列准备工作：

- (1)收集工程总体布置的有关资料；
- (2)收集工程地质、地形、水文和气象的有关资料；
- (3)收集邻近工程已有的试桩资料；
- (4)收集试验桩、锚桩和基准桩结构图及试打桩的沉桩记录和动测试验资料；
- (5)编制试验大纲和进行试验设计；
- (6)准备并标定好所需的测试仪器等。

10.1.8 在离试验桩3m~10m范围内必须有钻孔。钻探深度及其他要求应符合附录A规定。

10.1.9 试验不应在大风大浪等气象水文条件恶劣时进行。试验期间，距离试桩50m范围内不得进行打桩作业，并应避免各种振动影响，严禁船舶碰撞试验平台。

10.1.10 试验报告的主要内容应包括概况、试验目的、项目内容、水文地质资料、试验布置、试验方法、沉桩情况、试验成果及分析、结论和建议等。

10.2 试验设备

10.2.1 试验设备应符合下列要求：

- (1)加载能力应取预计最大试验荷载的1.3~1.5倍；
- (2)受力构件应满足强度和变形要求；
- (3)便于安全安装和拆卸；
- (4)锚桩及张锚体系必须具有足够的抗拔能力和安全储备，并应减少受力不均匀的影响；
- (5)基准桩应稳固可靠。基准梁应具有足够的刚度，并应减少温度等因素的影响；
- (6)加载设备、油压系统、量测系统和电气设施等事先应作必要的标定和安全检查。

沉降观测系统精度应达到0.01mm。试验中应避免试验桩偏心受力或不稳定受力。

10.2.2 在水域进行静载荷试验必须搭设牢固的工作平台。平台不得与试验桩和基准桩相连接，平台标高应满足不受水位和风浪等影响。平台应设置必要的护栏、人行爬梯、安全标识和信号灯等。

10.3 静载荷试验

10.3.1 试验方法可采用快速维持荷载法(快速法)或慢速维持荷载法(慢速法)，有经验时也可采用其他方法。外海宜优先采用快速法。

在载荷试验中若需测定桩的轴向反力系数K(单位轴向力作用下的桩顶下沉量)时,应在永久荷载标准值到永久荷载与可变荷载标准值的组合值之间,至少往复加卸载3次,取趋于稳定的一次循环的首尾点进行计算。

10.3.2 加卸载均应分级进行,宜采用等量分级。每级加载为预计最大试验荷载的1/10~1/12,每级卸载为2倍加载级。

加卸载时应使荷载平稳、连续、无冲击和无超载。每级加卸载时间不宜少于1min。

10.3.3 每一荷载级维持的时间应按表10.3.3规定确定。

每一荷载级维持时间 表10.3.3

荷载级	试验方法	
	快速法	慢速法
新加载级	一般1h	桩顶沉降速率达到稳定标准为止,且不大于2h
卸载级	15min	1h
卸载为零	1h	3h
循环加、卸载的途径荷载级	5min	15min
循环加、卸载的首尾荷载级	15min	1h

10.3.4 慢速法试验的沉降稳定标准为:桩顶在某级荷载作用下,1h内对应的沉降值小于0.1mm时可定为该级沉降达到稳定。

10.3.5 试验中各项观测数据应及时记录或打印,并当场做数据整理汇总。手工记录汇总可参照附录M。如遇异常情况应及时作详尽记录。汇总后,应绘制荷载—沉降(Q—S)曲线,沉降—时间对数(S—lgt)曲线等。

10.3.6 慢速法试验测读时间为0、5、10、15和30min,以后每间隔30min测读一次,直至达到荷载维持时间的标准。

10.3.7 静载荷试验凡符合下列条件之一时可终止加载,并进行分级卸载。

10.3.7.1 当Q—S曲线出现可判定极限承载力的陡降段,且桩顶总沉降量超过40mm,对慢速法在40mm以下应有一个稳定荷载。

10.3.7.2 采用慢速法试验,在某级荷载作用下,24h未达到稳定。

10.3.8 桩的垂直极限承载力应按下列规定确定。

10.3.8.1 当Q—S曲线上有可判定极限承载力的陡降段时,采用明显陡降段起始点对应的荷载。陡降段的起始点可根据下列方法之一确定:

(7)当 $\frac{\Delta S_n}{\Delta Q_n} \leq f(L)$, 而 $\frac{\Delta S_{n+1}}{\Delta Q_{n+1}} > f(L)$ 时, 或 $\frac{\Delta S_{n+1}}{\Delta Q_{n+1}} / \frac{\Delta S_n}{\Delta Q_n} > 5$ 且 $S_{n+1} > 40\text{mm}$ 时, n点对应

的荷载为极限承载力,图10.3.8(a)其中 $f(L) = \frac{3.3}{L} - 0.04$ 。L为桩长,单位为m, $f(L)$ 单位为mm/kN;

(2)当Q/Q_{max}—S/d曲线有明显陡降,即曲线斜率开始演变为大于0.3(对于一般挤土桩),或大于0.2(对于大直径开口管桩等低挤土桩)时对应的荷载为极限承载力。其中Q_{max}为试验所加的最大荷载;

(3)在S—lgt曲线中取曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显向下曲折的前一级荷载为极限承载力。

10.3.8.2 当试桩终止条件符合第10.3.7.2条情况时,在Q—S曲线上没有可判定极限承载力的陡降段时,取该不稳定荷载的前一级荷载为极限承载力。

10.3.8.3 当Q—S曲线没有明显陡降时,在Q—S曲线上取桩顶总沉降量S = 40mm相对应的荷载作为极限承载力近似值,见图10.3.8(b)。对于钢管桩或桩长超过50m的预应力

混凝土大直径管桩所取用的桩顶总沉降量应适当加大。

注：极限承载力宜取初压值。

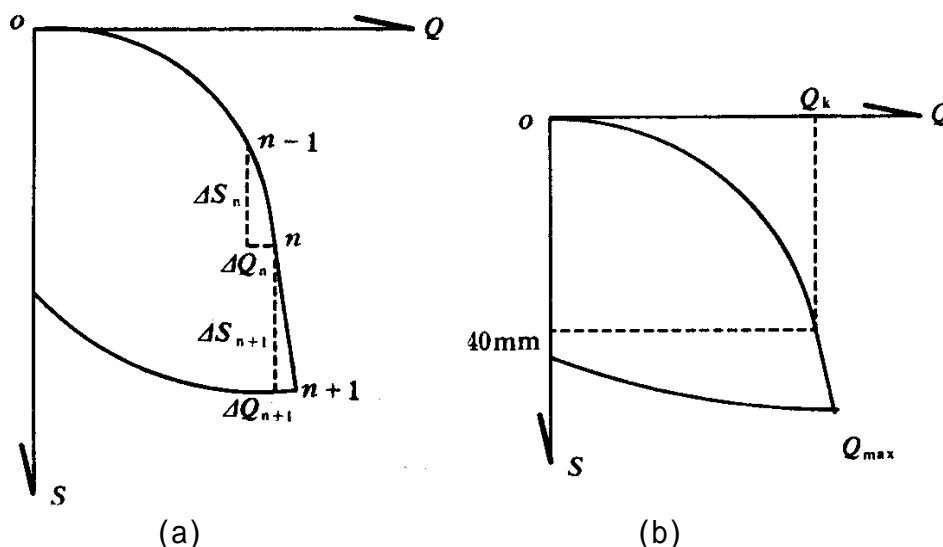


图10.3.8 Q—S曲线

10.3.9 当试桩需要进行复压或上拔试验时，已试验过的桩宜间歇72h以上，使桩周土体得以恢复。

10.3.10 上拔载荷试验可参照压载试验有关规定进行，上拔试验桩在试验荷载作用下必须满足结构承载力要求。不宜利用工程桩作上拔载荷试验。

11 水平静载荷试验

11.1 一般要求

11.1.1 试验桩的位置应根据工程设计要求选择有代表性的地点，试验桩的周围地表面较平坦，应减少影响试验桩变形的其他因素。

11.1.2 试验桩的数量应根据设计要求和工程地质条件等确定，但不宜少于2根。

11.1.3 试验桩在沉桩后到进行加载的间歇时间，与垂直静载荷试验桩的规定相同。在同一根试验桩上先进行垂直静载荷试验，再进行水平静载荷试验时，两次试验之间的间歇的时间不宜小于48h。

11.1.4 试验前应按第10.1.7条规定进行试验准备。

11.1.5 在离试验桩3m~10m范围内必须有钻孔。在地表以下16倍桩径深度范围内每隔1m均应有土样的物理力学试验，16倍桩径以下深度间距可适当放大。有条件时可进行现场十字板、静力触探或旁压试验。

11.1.6 试验桩桩顶一般以自由状态进行试验。

11.2 试验设备

11.2.1 根据试验要求预估能施加的最大荷载和最大位移，试验设备的加载能力应取预计最大试验荷载的1.3~1.5倍；试验桩周边至平台间预留的空档位置不应小于预计的最大位移。

11.2.2 为防止试验桩的加力点处局部变形或破坏，应适当加强。

11.2.3 反力结构的承载力及其刚度应取试验桩的1.3~1.5倍。采用对顶法时，其净距不应小于5倍桩径。

11.2.4 基准桩应稳固可靠，不受试验和其他影响，其与试验桩或反力结构的净距不宜小于5倍桩径。

11.2.5 试验设备应满足第10.2.1条有关规定外，在试验中还应防止加载的偏心。测力装置应设球支座，位移测试精度不宜小于0.02mm。

11.3 静载荷试验

11.3.1 试验方法宜采用单向单循环水平维持荷载法，根据设计要求也可采用多循环等其他水平荷载试验方法。

11.3.2 加卸载均应分级进行，加载时每级级差可取预计最大荷载的1/10，卸载时可取2倍加载级。

11.3.3 加载每级维持20min，卸载每级维持10min。从0开始，每隔5min测读一次，直到到达维持时间止。测读数据应现场记录、整理和汇总。

11.3.4 试验终止加载条件为：在某级荷载下，横向变形急剧增加、变形速率明显加快、地基土出现明显的斜裂缝、达到试验要求的最大荷载或最大位移。

11.3.5 试验结束后应绘制荷载—变形(H—Y)曲线，荷载—时间—变形(H—t—Y)曲线或荷载—地基土水平向反力系数随深度增长的比例系数(H—m)曲线。对于埋设量测装置的试桩应绘制桩身弯矩分布曲线，桩顶或泥面处倾斜角度变化曲线等；根据实测变形和桩身弯矩，计算并绘制桩身挠曲及桩侧土抗力与变形关系曲线簇(P—Y曲线)。

11.3.6 试桩水平极限承载力应根据H—y曲线上第二折点前一级荷载(图11.3.6)或 $1gH—1gY$ 曲线上第二折点(钢桩取第一折点)的前一级荷载等方法综合确定。

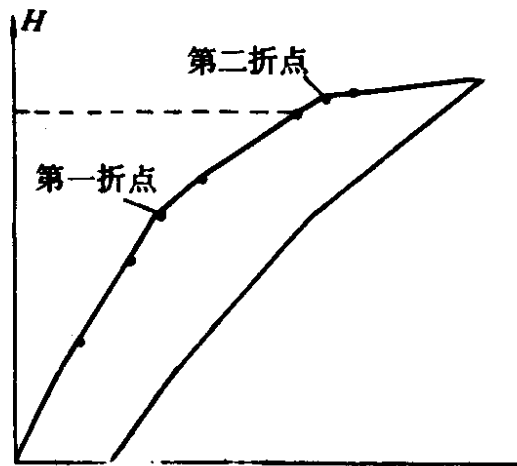


图 11.3.6 H—Y 曲线

11.3.7 试验报告主要内容应按第10.1.10条规定确定。

附录A 桩基工程勘察要点

A.0.1 钻孔间距按下列规定确定：

(1)摩擦桩：土层简单时宜取30m~50m，土层复杂时宜取15m~25m。

当以中密或密实砂层、硬粘性土层以及风化岩层等土层作为桩端持力层时，对该土层的顶面标高及分布情况应予以查明。若相邻两钻孔所探明的持力层顶面高差大于2m时，应在两钻孔之间补钻孔；

(2)嵌岩桩：宜取15m~25m。当相邻两钻孔间的层面坡度大于10%时，应根据具体工程条件适当加密钻孔。地质情况复杂的工程每根桩宜布置一个钻孔。

A.0.2 控制性钻孔宜为钻孔总数的1/3~1/2。控制性孔应钻至桩端标高以下，且不宜

小于下列规定：

(1)摩擦桩：一般粘性土取5m~8m，老粘性土、中密和密实砂土取3m~5m，碎石土取2m。且不宜小于3~5倍桩径；

(2)嵌岩桩：不宜小于3~5倍桩径。如持力层岩层较薄时，应有部分钻孔钻穿持力岩层。

A.0.3 各层土的物理、力学性能指标试验宜包括：含水量、重度、孔隙比、流限、塑限、灵敏度、颗粒成份、密实度、压缩系数、压缩模量、无侧限抗压强度、粘聚力、内摩擦角、标准贯入击数和现场十字板剪切强度等。

有条件时宜进行静力触探试验。

E.0.4 当基桩需进行水平力试验，在地表以下16倍桩径深度范围内，每间隔1m应有土样的物理力学试验。当需要应用P—Y曲线法验算水平力作用下桩身内力和变形时，应采用三轴仪进行试验。

附录B 高桩承台桩基群桩折减系数

高桩承台的桩基群桩折减系数可按下列公式计算：

$$\eta = \frac{1}{1 + \dots} \quad (\text{B.1})$$

$$\eta = 2A_1 \frac{m-1}{m} + 2A_2 \frac{n-1}{n} + 4A_3 \frac{(m-1)(n-1)}{mn} \quad (\text{B.2})$$

$$A_1 = \left(\frac{1}{3S_1} - \frac{1}{2L \tan \alpha} \right) d \quad (\text{B.3})$$

$$A_2 = \left(\frac{1}{3S_2} - \frac{1}{2L \tan \alpha} \right) d \quad (\text{B.4})$$

$$A_3 = \left(\frac{1}{3 \cdot \sqrt{S_1^2 - S_2^2}} - \frac{1}{2L \tan \alpha} \right) d \quad (\text{B.5})$$

式中 η ——群桩折减系数；

n ——高桩承台横向每排桩的桩数；

m ——高桩承台纵向每排桩的桩数；

L ——相邻桩的平均入土深度(m)；

S_1 ——纵向桩距，当桩距不等时，可取其平均值(m)；

S_2 ——横向桩距，计算方法与51相同(m)；

α ——土的固结快剪内摩擦角。对成层土，可取桩入土深度范围内 α 角的加权平均值；

d ——桩径或桩宽(m)。

式(B.3)至式(B.5)必须满足大于、等于零的条件，如其值小于零，则取零。

附录C 承受水平力的桩身内力和变形计算

C.1 P—Y曲线法

C.1.1 不排水抗剪强度标准值 C_u 小于等于96kPa的软粘土，在非往复荷载作用下P—Y曲线可按下列规定确定。

C.1.1.1 桩侧单位面积的极限水平土抗力标准值，可按下列公式计算：

(1)当 $Z < Z_r$:

$$P_u = 3C_u + rZ + \frac{C_u Z}{d} \quad (C.1.1-1)$$

(2)当 $Z \geq Z_r$:

$$P_u = 9C_u \quad (C.1.1-2)$$

$$Z_r = \frac{6C_u d}{rd + C_u} \quad (C.1.1-3)$$

式中 P_u ——泥面以下 Z 深度处桩侧单位面积极限水平土抗力标准值(kPa) ;
 C_u ——原状粘土不排水抗剪强度的标准值(kPa) ;
 r ——土的重度(Kn/m^3) ;
 Z ——泥面以下桩的任一深度(m) ;
 α ——系数,取0.25~0.5 ;
 d ——桩径或桩宽(m) ;
 Z_r ——极限水平土抗力转折点的深度(m)。

C.1.1.2 软粘土中桩的 P — Y 曲线可按下列公式确定 :

(1)当 $Y/Y_{50} < 8$ 时 :

$$\frac{P}{P_u} = 0.5 \left(\frac{Y}{Y_{50}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (C.1.1-4)$$

$$Y_{50} = \alpha d \quad (C.1.1-5)$$

(2)当 $Y/Y_{50} \geq 8$ 时 :

$$\frac{P}{P_u} = 1.0 \quad (C.1.1-6)$$

式中 P ——泥面以下 Z 深度处作用于桩上的水平土抗力标准值 (kPa) ;
 Y ——泥面以下 Z 深度处桩的侧向水平变形(mm) ;
 Y_{50} ——桩周土达极限水平土抗力之半时,相应桩的侧向水平变形(mm) ;
 α ——相关系数,取2.5 ;
 ϵ_{50} ——三轴仪试验中最大主应力差一半时的应变值。对饱和度较大的软粘土,也可取无侧限抗压强度 q_u 一半时的应变值。

D.1.1.3 当无试验资料时, α 可按表C.1.1采用。

α 值		α 值		α 值	
C_u (kPa)	α	C_u (kPa)	α	C_u (kPa)	α
12~24	0.020	24~48	0.010	48~96	0.007

C.1.2 对 C_u 大于96kPa的硬粘土,宜按试桩资料绘制 P — Y 曲线。

E.1.3 砂土单位桩长的极限水平土抗力标准值 P'_u ,可按下列公式计算 :

(1) 当 $Z < Z_r$ 时 :

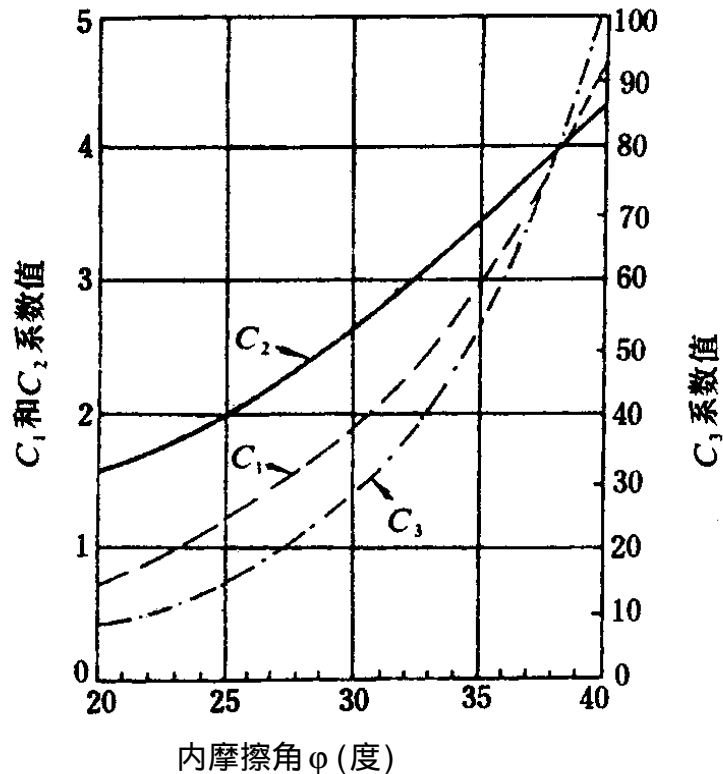
$$P'_u = (C_1 Z + C_2 d) r Z \quad (C.1.3-1)$$

(2) 当 $Z \geq Z_r$ 时 :

$$P'_u = C_3 d r Z \quad (C.1.3-2)$$

式中 P'_u ——泥面以下 z 深度处单位桩长的极限水平土抗力标准值(Kn/m) ;
 C_1 、 C_2 、 C_3 ——系数

(3) C_1 、 C_2 和 C_3 可按图C.1.3确定。



图C.1.3 随角φ而变化的系数

联立求解式C.1.3-1与式C.1.3-2，可得浅层土与深层土分界线深度 Z_r 。

C.1.4 砂土中桩的P—Y曲线，在缺乏现场试验资料时，可按下列公式确定：

$$P = \bullet P'_u th \left[\frac{KZ}{P'_u} Y \right] \quad (C.1.4-1)$$

$$= \left(3.0 - 0.8 \frac{Z}{d} \right) \geq 0.9 \quad (C.1.4-2)$$

式中 P——泥面以下z深度处作用于桩上的水平土抗力标准值(kN/m)；

——计算系数；

K——土抗力的初始模量。

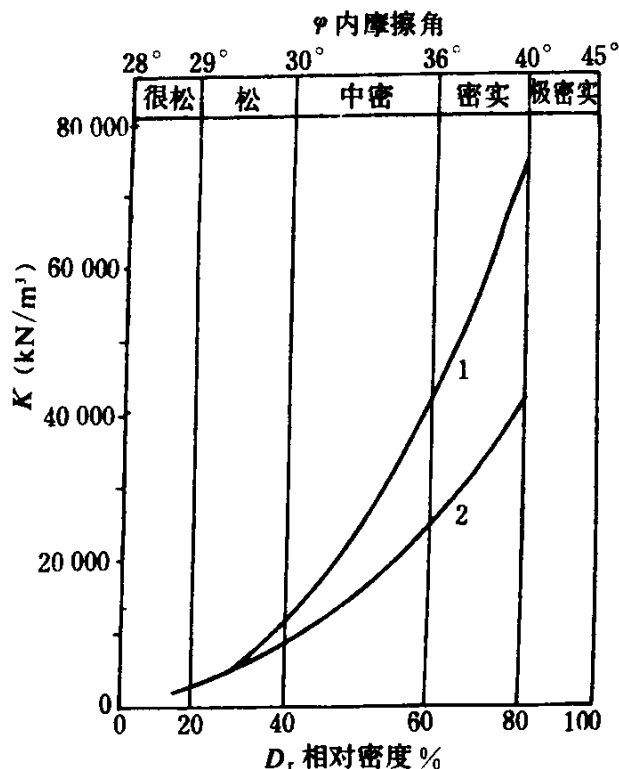
土抗力的初始模量可按图C.1.4确定。

C.1.5 在水平力作用下，群桩中桩的中心距小于8倍桩径，桩的入土深度在小于10倍桩径以内的桩段，应考虑群桩效应。在非往复水平荷载作用下，距荷载作用点最远的桩按单桩计算。其余各桩应考虑群桩效应。其P—Y曲线中的土抗力P在无试验资料时，对于粘性土可按下列式进行计算土抗力的折减系数

$$h = \left[\frac{\frac{S_0}{d} - 1}{7} \right]^{0.043 \left(10 - \frac{Z}{d} \right)} \quad (C.1.5)$$

式中 h ——土抗力的折减系数；

S_0 ——桩距(m)。



图C.1.4 K值曲线

1—水上；2—水下

C.1.6 桩在泥面下的内力和变形，可采用P—Y曲线的无量纲迭代法或有限差分法进行计算。当求解码头排架，由P—Y曲线求P时，此时桩的变形Y值应为全部荷载组合后的总变形。

C.1.7 设计中应将由水平力(包括土抗力)标准值产生的桩身最大弯矩乘以综合分项系数1.4，作为最大弯矩设计值。

C.2 m 法

C.2.1 m法假设土的水平地基抗力系数随深度呈线性增加，即

$$K = mZ \quad (C.2.1)$$

式中 K——土的水平地基抗力系数(kN/m³)；

m——土的水平地基抗力系数随深度增长的比例系数(kN/m⁴)；

Z——计算点的深度(m)。

m值宜通过单桩水平静载试验确定，当无试桩资料时，可按表C.2.1采用。

C.2.2 在水平力和力矩作用下，弹性长桩的桩身变形和弯矩，可按下列规定确定。

C.2.2.1 桩顶可自由转动时，桩身变形和弯矩可按下列公式计算：

$$Y = \frac{H_0 T^3}{E_p I_p} A_y + \frac{M_0 T^2}{E_p I_p} B_y \quad (C.2.2-2)$$

$$M = H_0 T A_m + M_0 B_m \quad (C.2.2-3)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{mb_0}} \quad (C.2.2-4)$$

$$Z_m = \bar{h} T \quad (C.2.2-5)$$

$$\text{或 } M_{\max} = H_0 T D_2 \quad (C.2.2-6)$$

式中 Y ——桩身在泥面或泥面以下的变形(m)；
 H_0 ——作用在泥面处的水平荷载(kN)；
 T ——桩的相对刚度系数(m)；
 E_p ——桩材料的弹性模量(Kn/m^2)；
 I_p ——桩截面的惯性矩(m^4)；
 A_y 、 B_y 、 A_m 、 B_m ——分别为变形和弯矩的无量纲系数。按附表C.2.2确定，
 M_0 ——作用在泥面处的弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)；
 m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数(Kn/m^4)；
 b_0 ——桩的换算宽度(m)， b_0 取 $2d$ 。 d 为桩受力面的桩宽或桩径；
 Z_m ——桩身最大弯矩距泥面深度(m)；
 \bar{h} ——换算深度(m)，根据 $C_1 = \frac{M_0}{H_0 T}$ 或 $D_1 = \frac{H_0 T}{M_0}$ 按表C.2.2查得，
 M_{\max} ——桩身最大弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)，
 C_2 、 D_2 ——无量纲系数，根据 $\bar{h} = Z_m / T$ 按表C.2.2中查得。

C.2.2.2 桩顶嵌因而转角为零时，桩身变形和弯矩，可按下列公式计算：

$$Y = (A_y - 0.93B_y) \frac{H_0 T^3}{E_p I_p} \quad (\text{C.2.2-7})$$

$$M = (A_m - 0.93B_m) H_0 T \quad (\text{C.2.2-8})$$

C.2.3 当地基土成层时， m 采用地面以下 $1.8T$ 深度范围内各土层 m 的加权平均值。

土的 m 值 表C.2.1

序号	地基土类别	混凝土桩、钢 桩	
		m 值(kN/m^4)	相应单桩在地面处水平位移(mm)
1	淤泥，淤泥质土	2000 ~ 4500	10
2	流塑($I_L > 1$)、软塑($0.75 < I_L \leq 1$)状粘性土、 $e > 0.9$ 粉土，松散粉细砂、松散填土	4500 ~ 6000	10
3	可塑($0.25 < I_L \leq 0.75$)状粘性土、 $e=0.7 \sim 0.9$ 粉土、稍密或中密填土、稍密细砂	6000 ~ 10000	10
4	硬塑($0 < I_L \leq 0.25$)坚硬($I_L = 0$)状粘性土 $\rho < 0.7$ 粉土、中密的中粗砂、密实老填土	10000 ~ 22000	10

注：当水平位移大于表列数值时， m 值应适当降低。

*m*法计算用无量纲系数表

表C.2.2

换算深度 $\bar{h}=Z/T$	A_y	B_y	A_n	B_n	A	B	C_1	D_1	C_2	D_2
0.0	2.441	1.621	0	1	-1.621	-1.751		0	1	
0.1	2.279	1.451	0.100	1	-1.616	-1.651	131.252	0.008	1.001	131.318
0.2	2.118	1.291	0.197	0.998	-1.601	-1.551	34.186	0.029	1.004	34.317
0.3	1.959	1.141	0.290	0.994	-1.577	-1.451	15.544	0.064	1.012	15.738
0.4	1.803	1.001	0.377	0.986	-1.543	-1.352	8.781	0.114	1.029	9.037
0.5	1.65	0.870	0.458	0.975	-1.502	-1.254	5.539	0.181	1.057	5.856
0.6	1.503	0.750	0.529	0.959	-1.452	-1.157	3.710	0.270	1.101	4.138
0.7	1.360	0.639	0.592	0.938	-1.396	-1.062	2.566	0.390	1.169	2.999
0.8	1.224	0.537	0.646	0.913	-1.334	-0.970	1.791	0.558	1.274	2.282
0.9	1.094	0.445	0.689	0.884	-1.267	-0.880	1.238	0.808	1.441	1.784
1.0	0.970	0.361	0.723	0.851	-1.196	-0.793	0.824	1.213	1.728	1.424
1.1	0.854	0.286	0.747	0.814	-1.123	-0.710	0.503	1.988	2.299	1.157
1.2	0.746	0.219	0.762	0.774	-1.047	-0.630	0.246	4.071	3.876	0.952
1.3	0.645	0.160	0.768	0.732	-0.971	-0.555	0.034	29.58	23.438	0.792
1.4	0.552	0.108	0.765	0.687	-0.894	-0.484	-0.145	-6.906	-4.596	0.666
1.6	0.388	0.024	0.737	0.594	-0.743	-0.356	-0.434	-2.305	-1.128	0.480
1.8	2.254	-0.036	0.685	0.499	-0.601	-0.247	-0.665	-1.503	-0.530	0.353
2.0	0.147	-0.076	0.614	0.407	-0.471	-0.158	-0.865	-1.156	-0.304	0.263
3.0	-0.087	-0.095	0.193	0.076	-0.070	0.063	-1.893	-0.528	-0.026	0.049
4.0	-0.108	-0.015	0	0	-0.0003	0.085	-0.045	-22.500	0.011	0

注：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。

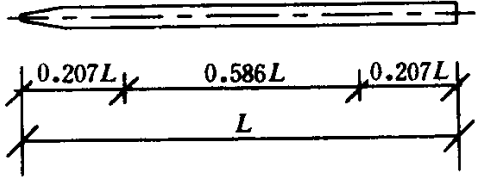
C.2.4 设计中应将由水平力(包括土抗力)标准值产生的桩身最大弯矩，乘以综合作用分项系数1.4 作为最大弯矩设计值。

附录D 桩的吊运内力计算

D.0.1 当采用二点吊或四点吊吊桩，且符合第8.4.7条吊桩工艺时，可按表D.0.1—1或表D.0.1—2计算吊桩内力。

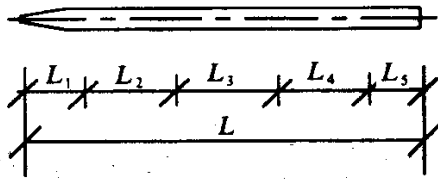
二点吊桩的吊点位置及弯距计算公式表

表 D. 0. 1-1

类 型		A 型 桩 (等截面桩)	B 型 桩 (两端各有 2m 实心段的空心桩)
项 目			
吊 点 位 置			
弯 矩 计 算 公 式	水 平 吊 运	$M=0.0215\alpha\gamma qL^2$	$M=0.02562\alpha\gamma qL^2$
	吊 立	$M=0.0250\alpha\gamma qL^2$	

注：M——计算最大弯矩设计值(kN·m)，
 ——动力系数，按第5.1.3条规定取用；
 γ ——作用分项系数，取1.20；
 q ——桩的单位长度重力标准值(Kn/m)，A型桩指空心截面或实心截面的单位长度重力，B型桩指空心段单位长度重力；
 L——吊运桩长(包括桩尖)(m)。

四点吊桩的吊点位置及弯矩计算公式表 表 D. 0. 1-2

桩 型						弯矩计算公式	
	L_1/L	L_2/L	L_3/L	L_4/L	L_5/L	吊立	水平吊运 (吊索垂直桩轴)
A 型 (等截面桩)	0. 05	0. 28	0. 31	0. 23	0. 13	$M = \alpha\beta\gamma qL^2$	$M = 0. 01115\sigma^{\wedge}qL^2$
B 型 (两端各有 2m 实心段的空心桩)	0. 05	0. 28	0. 31	0. 24	0. 12		$M = 0. 01126\alpha\gamma qL^2$
C 型 (桩尖端无实心段、桩顶端 6m 实心段的空心桩)	0. 05	0. 29	0. 33	0. 21	0. 12		$M = 0. 01250\alpha\gamma qL^2$

注：β——桩的吊立弯矩系数。

注： 桩的吊立弯曲系数。

D. 0. 2 桩的吊立弯曲系数 可按表D. 0. 2采用：

桩的吊立弯曲系数

表D. 0. 2

桩 长 (m)				桩 长 (m)			
	A型	B型	C型		A型	B型	C型
20	0.0125	0.0159	0.0138	36	0.0125	0.0143	0.0148
22	0.0125	0.0159	0.0142	38	0.0125	0.0143	0.0146
24	0.0125	0.0156	0.0149	40	0.0125	0.0140	0.0144
26	0.0125	0.0156	0.0153	42	0.0125	0.0138	0.0143
28	0.0125	0.0152	0.0153	44	0.0125	0.0137	0.0141
30	0.0125	0.0150	0.0152	46	0.0125	0.0136	0.0140
32	0.0125	0.0147	0.0151	48	0.0125	0.0134	0.0139
34	0.0125	0.0145	0.0149	50~60	0.0125	0.0134	0.0138

注： 本表为下吊索计算长度S=0.5L时的计算值。S为扣除吊索捆绑长度的净长。

吊高H=0.8L~1.5L，且 20mm。

附录E 吊耳板设计

E.0.1 吊耳板尺寸(图E.0.1)应按下列公式确定：

$$B = (2.4 \sim 2.6)d \quad (\text{E.0.1-1})$$

$$\frac{1}{20}B \quad (\text{E.0.1-2})$$

$$a = (0.90 \sim 1.05)d \quad (\text{E.0.1-3})$$

式中 B——吊耳板宽度(mm)；
 d——吊耳孔直径(mm)；
 ——吊耳板厚度(mm)；
 a——孔顶至板顶距离(mm)。

E.0.2 吊耳板承载力应按下列公式计算：

(1)吊耳孔壁局部受压承载力：

$$\sigma_{cj} = \frac{\alpha r g P}{2r\delta} \leq f_{cj} \quad (\text{E.0.2-1})$$

(2)吊耳孔壁受拉承载力：

$$f_{ij} = \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \leq f_{ij} \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中 f_{cj} ——孔壁局部受压承载力(MPa)；
 ——动力系数，按第5.1.3条规定取用；

g ——荷载分项系数， g_G 取1.35；

P——吊耳板荷载标准值(N)；

r——吊耳孔半径(mm)；

f_{cj} ——局部紧接承压强度设计值(MPa)，可按表B.0.2采用；

f_{ij} ——孔壁受拉承载力(MPa)；

R——吊耳板半宽(mm)；

f_{ij} ——孔壁受拉强度设计值(MPa)，可按表E.0.2采用。

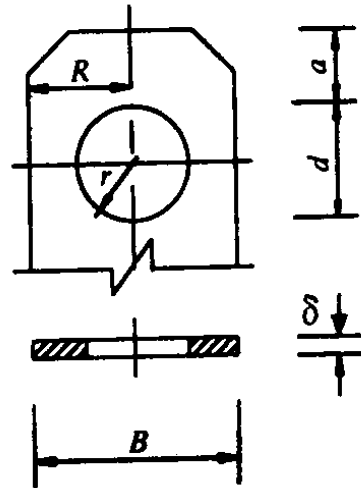


图 E.0.1 吊耳板

吊耳板钢材强度设计值

表E.0.2

强度类别	Q235	16Mn	强度类别	Q235	16Mn
f_{cj} (MPa)	125	175	f_{ij} (MPa)	145	230

试沉桩记录表

(续上表)

工程名称			每 500m					桩身穿越土层情况					每500mm的打击次数(次) 平均贯入度(mm/击)					落锤高(m)	桩身回弹(mm/击)	贯入度(mm/击)	备注
桩基位置			阵次	锤击次数	桩身读尺(m)	平均贯入度(mm/击)	桩尖标高	分层土名和标高(m)		桩入土深度(m)	标贯N曲线										
工作 时间	桩的部位	上节						下节													
	吊桩			17						20											
	就位			18																	
	锤击			19																	
	接桩			20																	
桩身倾斜偏差(%)																					
桩位平面偏差	东																				
	南																				
	西																				
	北																				

注：标贯入击数N值用未经修正的数值，否则应予注明。

附录G 选锤参考资料

本附录适用于桩径(或桩宽)400mm~1200mm,入土深度小于40m混凝土桩和钢管桩,在采用常用锤型沉桩时,判断其贯穿硬土层的能力几可能达到的承载力等关系,可按表G选用。

选锤参考资料

表G

项目	常用锤型	63.7kN单 动蒸气锤	98kN单动 蒸气锤	柴油锤		柴油锤			柴油锤		
				MB-40	MH-45B	MB-70	MH-72B	MH-80B	D-80	D-100	
锤型资 料	锤芯重(t)	3.4 ~ 4.4	6.37	4.0	4.41	7.06	7.06	8.0	8.0	10.0	
	锤总重(t)	6.4	8.8	10.68	10.1	26.68	18.0	20.74	16.04	19.43	
	常用冲程(m)	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6	1.8 ~ 2.3	1.8 ~ 2.3	1.8 ~ 2.3	1.8 ~ 2.3	1.8 ~ 2.2	2.8 ~ 3.2	2.8 ~ 3.2	
	最大锤击能量(kN-m)	—	—	108	132	191	212	220	272	340	
与锤相 应的桩 截面尺 寸(mm)	混凝土方桩	400 ~ 500	450 ~ 500	500 ~ 550		500 ~ 600			600	—	
	预应力混凝土管桩	—	—	800		800 ~ 1000			800 ~ 1200	1200	
	钢管桩	—	—	(600 ~ 900)		(900 ~ 1200)			(900 ~ 1200)	(1200)	
锤击沉 桩能力	桩身可贯穿硬土 层深度(m)	硬粘土	2.5 ~ 4	4 ~ 6	8 ~ 10		10 ~ 15			10 ~ 15	10 ~ 20
		中密砂土	1.5 ~ 2.5	2 ~ 4	5 ~ 8		8 ~ 5			8 ~ 15	10 ~ 15
	桩端可打入硬 土层深度(m)	密实砂土或 砾砂	—	—	0.5 (1.0 ~ 1.5)		0.5 ~ 1.5 (1.0 ~ 2.0)			0.5 ~ 1.5 (1.0 ~ 2.0)	0.5 ~ 1.5 (1.0 ~ 2.0)
		风化岩(N=50 击左右)	—	—	0.5 (1.0 ~ 2.0)		0.5 ~ 1.5 (1.5 ~ 3.0)			0.5 ~ 1.5 (1.5 ~ 3.0)	0.5 ~ 1.5 (1.5 ~ 3.0)
	所用锤可能达到的极限承载力(kN)	1500 ~ 3000	2500 ~ 4000	3000 ~ 5000		4000 ~ 7000			6000 ~ 9000	9000	
	最终10击的平均贯入度(mm/ 击)	1 ~ 5	2 ~ 10	3 ~ 5 (2 ~ 3)		5 ~ 10 (3 ~ 5)			5 ~ 10 (3 ~ 5)	5 ~ 10	

注： 本表仅供施工单位选锤时参考，不得作为桩的极限承载力和控制贯入度的依据；
硬粘土是指老粘性土和强风化残积层， $N=20 \sim 40$ （ N 为未经修正数值）；
其他锤型可根据最大锤击能量，参照有关档次选用；
表中括号内数值为钢管桩；
桩打入硬土层的深度不包括桩尖部分的长度。

附录H 沉桩、定位记录

沉桩、定位记录表

表H

工程名称					沉桩日期				船名及规格				沉桩小组	
基桩部位					天气				桩锤型号				测量小组	
基桩参数	材料		阵次顺序	每阵锤击数	桩身读尺数	入土深度	平均贯入度	阵次顺序	每阵锤击数	桩身读尺数	入土深度	平均贯入度		
	规格													
	制桩日期		1											
工作时期	开始锤击		2					27						
	停止锤击		3					28						
	小计		4					29						
编号	沉桩		5					30						
	设计		6					31						
桩身斜度	设计		7					32						
	竣工		8					33						
水准点高程			9					34						
后视读数			10					35						
仪器高程			11					36						
替打长度			12					37						
垫层厚度			13					38						
垫层材料			14					39						
最后停锤读尺数	理论		15					40						
	实际		16					41						
稳桩读数			17					42						
压锤读数			18					43						
泥面标高			19					44						
桩尖标高	设计		20					45						
	实际		21					46						
桩顶标高	设计		22					47						
	竣工		23					48						
沉桩偏位	纵向	A	横向	B			24					49		
		A		B			25					50		
竣工偏位	纵向	A	横向	B	桩位布置草图									
		A		B										
仪器														
			测量		记录		计算		校核					

校核_____ 誊写_____ 记录_____

附录K 水冲锤击沉桩记录

水冲锤击沉桩记录表

表K

工程名		基桩位置				沉桩日期		沉桩船名						备注
水渠号		冲水管直径				水嘴距桩尖距		水冲方式						
锤型资料	锤型	阵次	工序名	各工序名		水压 (MPa)	风压 (MPa)	锤击	桩身 读数	阵贯入 量(m)	平均贯入 度(mm/击)	桩尖 标高	入土 深度	
	锤总重(t)			起	止									
	活动部分重(t)													
	冲程(mm)													
基桩资料	桩型及材料													
	尺寸(mm)													
	制桩日期													
桩垫材料及厚度(mm)														
编号	设计													
	施工													
设计桩身斜度														
测量资料	水准点标高													
	后视													
	仪高													
泥面标高(m)														
桩尖标高(m)	设计													
	施工													
桩顶标高(m)	设计													
	施工													
桩身倾斜偏差(%)														
沉桩偏位	东													
	南													
	西													
	北													

测量： 记录： 校核：

附录L 水冲锤击沉桩所需水泵、射水管 及多孔喷头参考资料

K.0.1 内冲内排和内冲外排法沉桩所需的水泵性能可按表L采用。

沉桩所需的水泵性能参考表

表L

土质	桩入土深度 (m)	冲水排泥方式	水泵性能		射水管直径 (mm)	水泵出水口处水压 (Mpa)	风管直径 (mm)	风量 (m ³ /min)
			流量 (m ³ /h)	扬程 (m)				
松砂及中密砂层	8 ~ 16	内排	80 ~ 100	80 ~ 120	75	0.4 ~ 0.8	25	6
		外排	100 ~ 140	100 ~ 150	75	0.8 ~ 1.4		
	16 ~ 24	内排	100 ~ 130	100 ~ 150	100	1.6 ~ 1.0	32	6 ~ 9
		外排	120 ~ 180	120 ~ 190	75	0.9 ~ 1.8		
密实砂层夹砾石砂层	8 ~ 16	内排	100 ~ 130	100 ~ 130	75 ~ 100	0.6 ~ 1.0	32	6 ~ 9
		外排	120 ~ 180	120 ~ 190	75 ~ 100	0.9 ~ 1.8		
	16 ~ 24	内排	130以上	130以上	100	0.8 ~ 1.2	32	9
		外排	160 ~ 190	160 ~ 240	75 ~ 100	1.0 ~ 2.2		

注：本表适用于桩径(或桩宽)为400mm ~ 600mm的混凝土桩。

K.0.2 多孔喷头(图L.0.2)可增加冲水强度，提高沉桩效率。喷头的中心喷口直径为射水管直径的0.2 ~ 0.4倍；喷头的中心喷口直径为6mm ~ 8mm，侧面喷口与中心喷门轴线成30° ~ 45°角。侧面喷口的数目宜为4 ~ 8个。采用内冲外排法沉桩时，也可不设侧面上斜向喷口。

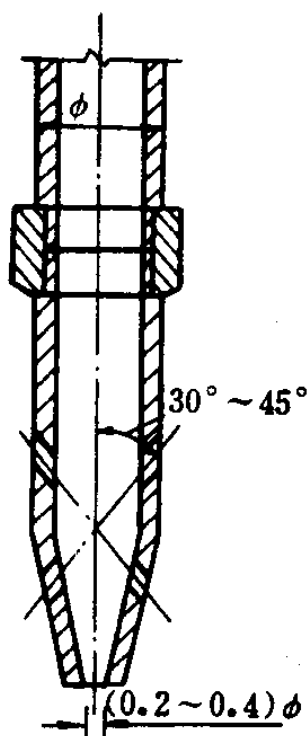


图 L.0.2 多孔喷头

附录N 本规范用词用语说明

K.0.1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对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”。

N.0.2 条文中指明应按其他有关标准、规范的规定执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附加说明

本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：交通部第三航务工程勘察设计院

参加单位：中交水运规划设计院

天津港湾工程研究所

交通部第三航务工程局科研所

河海大学

交通部第一航务工程局

交通部第二航务工程局

交通部第三航务工程局

交通部第四航务工程局

主要起草人：王炳煌

(以下以姓氏笔画为序)

王东明 方兆麟 阮 青 李士请箐

李为荣 李乐铭 杨克己 陈奉对

李泰宣 吴智平 杨德元 俞亚军

袁孟全 唐顺娟 夏堪利 贾德庆

曹称宇

中华人民共和国行业标准
港口工程桩基规范

JTJ 254—98
条文说明

修订说明

《港口工程桩基规范》系根据交通部(1990)交函工字210号文的通知要求修订的，主编单位为交通部第三航务工程勘察设计院，参加编写的单位有：中交水运规划设计院、天津港湾工程研究所、交通部第三航务工程局科研所、河海大学、交通部第一、二、三、四航务工程局。

本规范在修订过程中，按现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158)规定的原则，总结了我国港口工程桩基设计和施工经验，进行多项专题研究，借鉴国内外有关标准先进经验，结合我国港口工程的实际情况，对桩基设计、施工和静载荷试验做了规定。广泛征求意见，经反复修改后，于1995年11月完成送审稿。

本规范各章及附录的编写人员如下：

第1章～第3章：王炳煌

第4章：夏琪利 杨克已 杨德元 王炳煌
李士箐 李乐铭 唐顺娟

第5章：曹称宇 王炳煌 方兆麟 阮青

第6章：陈奉琦

第7章、第8章：李泰宣 袁孟全 王东明 贾德庆
李为荣 俞亚军

第9章：李泰宣 陈奉琦

第10章、第11章：李乐铭 唐顺娟 吴智平

附录A：王炳煌

附录B、附录C：杨克已

附录D：曹称宇

附录E：陈奉琦

附录F～附录L：李泰宣 袁孟全 王东明 贾德庆
俞亚军

规范总校工作领导小组：

组长：仇伯强

副组长：姜明宝

成员：杜廷瑞 贺铮 孙毓华 王炳煌

本规范总校组：

组长：贺铮

副组长：孙毓华 王炳煌

成员：仇伯强 杜廷瑞 李泰宣 夏琪利 杨克已

本规范于1996年9月11日通过部审，1998年4月20日发布，1999年6月1日起实施。

1 总 则

1.0.2 近十余年，我国港口工程建设有很大的发展，工程用桩的桩型、桩的长度和施工环境发生很大变化。修订规范时认真总结了经验。对规范适用范围，保留了原规范规定的预应力混凝土桩，钢管桩和钢筋混凝土桩，补充了近年在港口工程中已广泛使用的预应力混凝土管桩。对各种桩的设计、施工和静载荷试验的内容作了更为详细规定。

在港口工程中，少数工程采用灌注桩、嵌岩桩，其设计和施工可参照有关规范执行。

3 一 般 规 定

3.0.1 港口工程常用桩型有预应力混凝土桩、预应力混凝土管桩、钢管桩和钢筋混凝土桩。桩型的选择应通过技术经济比较确定。

预应力混凝土桩强度高、抗锤击性能好，具有良好的耐久性，港口工程中使用比较普遍。

预应力混凝土管桩按生产工艺可分为：后张法预应力混凝土大直径管桩和先张法预应力混凝土管桩。后张法预应力混凝土大直径管桩是指由分段成型管节，管节间涂刷粘接剂拼接，采用后张预应力形成的管桩。管桩桩径为1000mm~1400mm。后张法预应力混凝土大直径管桩抗弯能力大，耐锤击性能好，近十余年发展较快；先张法预应力混凝土管桩是由预应力混凝土管节拼接形成的管桩，管节之间可采用端板焊接或法兰盘螺栓联接等接头形式拼接。港口工程常用先张法预应力混凝土管桩桩径为600mm~800mm。

钢筋混凝土桩在锤击沉桩时桩身普遍产生裂缝，一般只用于内河中小型工程。

少数工程采用灌注桩。在华东和华南沿海、以及内河，遇覆盖层较薄时多采用嵌岩桩。

3.0.4~3.0.6 根据现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB50158)，并结合港口工程桩基设计和施工具体情况，对桩基工程承载能力极限状态和正常使用极限状态两种极限状态作了规定。

4 承 载 力

4.1 一般要求

4.1.2 将桩端打入较硬土层并进入一定深度，对提高桩的承载力有显著作用，这已为大量工程实践所证实。

桩端进入持力层深度的规定，是避免桩端进入持力层过浅。上述规定是根据港口工程多年实践经验制定的。按目前所具备的打桩设备，上述规定一般是可以达到的。

试验证明，桩端阻力随着桩进入硬土层的深度增加而增加，但超过某一深度(即临界深度)后，端阻力不再随进深而增加，基本上接近一常数。工民建桩基规范规定砂土、碎石土临界深度为3~6倍桩径，粉土和粘性土为5~10倍桩径；同济大学试验得出在硬粘土的临界深度为7倍桩径。随着硬土层上面覆盖压力的改变和桩径的不同，临界深度也将有所变化。

但必须着重指出，在确定桩端进入硬土层的深度时，应进行试沉桩或参照类似工程经验，考虑沉桩锤的性能、桩身强度和桩的入土深度等因素，避免造成锤损桩坏或沉桩困难的情况。

4.1.3 同一桩台基桩桩端打入软硬不同土层，桩台将产生不均匀沉降，有可能造成基桩、桩台(横梁)损坏，甚至影响流动机械正常使用。

4.2 垂直承载力

4.2.2 原规范规定由试桩确定承载力时安全系数取1.7~2.0。本次修订采用分项系数表达的以概率理论为基础的极限状态设计法，对所收集的109根试桩、45组小子样资料

经可靠度分析并结合工程经验,取桩承载力分项系数 R 为1.30,对于地质条件复杂工程,以及永久作用所占比例较大的工程,考虑到永久作用对变形不利影响,为安全计将 R 可提高到1.40,其可靠指标 β 值为3.9~4.0左右。

4.2.4 近年来随着港口工程建设的发展,原规范所给按经验参数法确定桩承载力的入土最深为27m已不能满足实际工程的需要,修订时将桩的入土深度增加到40m。其他修订的内容有:加密了桩侧土层分档密度;加密了土状态的分类密度;增加了粉细砂稍密和中粗砂的桩侧与桩端极限阻力的标准值;土的名称根据新的分类标准进行调整。

表中的经验参数,是根据186根预制混凝土挤土桩(带桩尖)的试桩资料,经统计分析得出的。验算表明,当采用上限(大值)计算时,试桩值与计算值之比的平均值为1.282,变异系数为0.3565;当采用下限(小值)计算时,平均值为1.441,变异系数为0.294。

原规范规定按经验参数法确定桩的承载力时安全系数取2.0。对桩侧和桩端阻力经验值,经可靠度分析并优化,得到桩承载力分项系数 R 为1.45,对于地质条件复杂或永久作用所占比例较大的工程, R 可提高到1.55,其可靠指标 β 值在3.5左右。

4.2.6 开口钢管桩垂直承载力涉及桩端土闭塞效应,情况较复杂,一般需通过静载荷试桩确定承载力。但有的工程桩数不多,且桩径小,试桩难以实现。宝钢、南京炼油厂等工程中对不同直径的开口钢管桩进行了试验研究,得出桩径小于600mm时,桩端土闭塞效应可以得到充分发挥。

4.2.7 收集了粘性土35根、砂土6根抗拔桩试桩资料,共计41个样本,以及相应的抗压桩对比试验,分别计算了各桩抗拔、抗压侧阻力对比值 β 。统计结果,粘性土均值为0.735,变异系数0.17,砂土均值为0.437,变异系数为0.21。综合考虑各种因素,本规范规定:粘性土 β 取0.7~0.8,砂土由于样本较少,结合过去经验 β 取0.5~0.6。

4.2.8 检查是保证桩承载力重要环节,检测桩垂直承载力宜采用高应变动力试验法。

4.2.10 港口工程中的群桩,一般为高桩台,桩的间距较大,一般大于3d(d为桩的直径或边长),所以规范中推荐承载力设计时仍采用群桩折减系数的概念。工民建规范中的群桩是承台着地的低桩台,设计以变形控制为主,桩土共同承担外荷。而高桩码头垂直变形计算目前尚无成熟方法,码头的容许变形统计资料很少,还难以确定。故规范仍以承载力控制为主,采用群桩折减系数。

4.3 水平力作用下桩的计算

(1)原规范引用桥梁等规范采用线性的m法和张友龄法,其桩的泥面位移不超过10mm。而港工中承受水平力的桩,一般在泥面处的位移多大于10mm,属非线性。在外海还受波浪等往复荷载的作用,原规范难以满足要求。修订时,考虑到m法已为广大工程技术人员所熟习,又有现成无量纲系数表格,当作用于桩上的荷载较小,或桩在泥面处的位移 >10 mm时,m法误差较小,使用又较方便,故予以保留。新增了非往复荷载(系指短期作用的水平荷载,如系船力或靠船力等)作用下桩的P-Y曲线法。用该法验算了20余根有水平力试验资料的桩身弯矩和泥面位移,其桩型有钢管桩、预应力混凝土大直径管桩和预应力混凝土方桩。用规范P-Y曲线法计算桩身弯矩和泥面位移,与试桩实测值比较,不论泥面位移的大小都较接近。

对影响P-Y曲线的诸多参数进行了分析,对桩身最大弯矩和泥面位移影响最显著的是粘土的不排水抗剪强度 C_u 和砂土的内摩擦角 ϕ ,其余参数的变化,对桩身最大弯矩的影响不显著,而对泥面位移的影响比较显著。为了使桩的设计接近实际,在进行设计时,应十分重视土工指标的取值,粘性土用P-Y曲线计算时必须作三轴试验或无侧限抗压强度试验,砂土作内摩擦角试验。

对于粘土,当受波浪等荷载连续往复作用时,经模型试验得知,当循环次数多,桩

的变位 $Y = Y_{50}$ 或桩侧土的土抗力 $P = 0.72Pu$ 时，由于桩周粘土的退化，使土的抗力降低，桩的变形加大，其 $P - Y$ 曲线应另行确定。

(2)增加了群桩 $P - Y$ 曲线的计算方法，其成果是用大量模型试验推导的，并用国外原型试验进行了验证。

(3)在水平力(包括土抗力)标准值作用下，采用 $P - Y$ 曲线法或 m 法计算所得桩身最大弯矩应乘以综合作用分项系数作为最大弯矩设计值，进行桩身截面设计。综合作用分项系数经校准，取1.4。

5 混凝土桩结构设计

5.2 吊桩内力和沉桩应力

5.2.4 ~ 5.2.5 锤击沉桩应力。

(1)锤击沉桩过程，桩身出现的拉、压应力受多种随机因素的影响。一般而言，拉应力最大值发生在沉桩初期或中间时段，压应力最大值发生在沉桩终期。拉应力最大值出现于桩身中、上部，压应力最大值出现于桩的顶部或底端部(特别是端承桩的底端部)。

(2)规范规定的锤击沉桩拉、压应力标准值，是根据试验数据进行数理统计来确定的。试验数据主要取自上海、华东地区；天津、渤海湾地区；华南部分地区。同时还参照了长江中下游部分桩的试验数据。

(3)锤击沉桩拉、压应力是属于动应力范畴，它与桩身材料的动强度有关。在动载荷作用下，桩身的应变速率与动强度有内在的联系。为简化设计，本规范给定的拉、压应力标准值，是经过动静换算和处理的静应力值，它可以直接用于设计计算。

5.3 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩的计算与构造

5.3.1 预应力混凝土桩要求在使用及施工时期都满足抗裂，这对桩的耐久性是很重要的；对于钢筋混凝土桩，规定在吊运和吊立过程中应抗裂，以避免出现细长比过大。但钢筋混凝土桩一般很难抵抗锤击所产生的拉应力，以往对钢筋混凝土桩的锤击拉应力都不要求抗裂，这影响了基桩的质量和使用年限，所以第3.0.1条规定钢筋混凝土桩只适用于内河港口中、小型码头。

5.3.4 根据港口工程长期实践和对26种桩型分析，原规范对桩身正截面承载力未作规定，而要求抗裂安全系数应达到1.25。原规范执行已20多年，情况良好。这次修订时参照原规定进行校准，采用条文中式(5.3.4)验算桩身混凝土抗拉强度，根据预应力混凝土桩(方桩)混凝土抗拉强度与预加应力的比值，确定分项系数 γ_s 为1.10。

5.3.8 考虑到桩在码头结构中的重要性，在施工和使用过程中受力情况复杂，环境恶劣，桩身必须具有一定的强度和抗腐蚀性，因此其混凝土强度等级不宜过低。

5.3.9 实践证明，空心到顶的桩抗锤击能力差。根据工程经验，规定在桩顶4倍桩宽范围内做成实心段。对冻融及冰凌撞击区，为提高桩的耐久性宜作成实心，取得较好效果。

5.3.11 在有障碍物及需进入风化岩层、砾石层等情况时，增设桩靴可保护桩尖，增加穿透能力。

对于打入风化岩层的桩，在桩端设置H形型钢，利用H形型钢贯穿能力强的特点，以增加打入风化岩的深度，采用H形型钢桩尖可打入 N 值为100左右的风化岩。

5.3.13 接桩处是基桩的薄弱环节。因此，对接头数量要予以限制，以每根桩不多于一个接头为宜。

要求接头的设计强度比计算所需设计强度高，是因为不论采用何种接头，其性能与整体结构是有差别的，特别是接头的质量与施工操作技术有很大关系，需以提高设计要求来弥补接头处可能形成的缺陷。

5.4 预应力混凝土管桩计算与构造

5.4.2 锤击沉桩拉应力分项系数 γ_s 的确定,是根据第5.3.4条规定的原则,按预应力混凝土管桩混凝土强度与预加应力的比值,确定取 $\gamma_s = 1.15$ 。

5.4.10~5.4.13 按铰接连接时,管桩顶伸入桩帽或横梁长度,以及桩芯钢筋外伸长度是按构造要求确定的。

按固接连接时,对管桩与桩帽的连接,以及桩帽构造应满足条文规定。

为研究管桩与桩帽连接性能,委托郑州工学院进行了专题研究。试验研究表明,当桩受弯时,桩伸入桩帽长度0.5倍桩径,桩身产生破坏,而桩与桩帽连接处完好;轴拔试验则要求桩伸入桩帽的最小长度应满足0.75倍桩径。综合考虑各种因素,规定按固接设计桩伸入桩帽长度必须满足0.75倍桩径。

桩芯混凝土伸入桩帽底面以下长度一般取1倍桩径,受弯、受拔试验时此长度也取1倍桩径,试验中在桩芯混凝土与桩管的连接部位未发生破坏现象。

桩芯纵向钢筋伸入桩帽一定长度,将增加连接点的延性,并使节点承载能力也略有增加。

管桩与桩帽按固接连接,轴向受拉时抗拔力计算公式(5.4.12),受弯时承载力计算公式(5.4.13)是根据试验资料确定的。在按式(5.4.12)计算轴向抗拔力时略去管桩与桩帽之间的粘结力,以策安全。

6 钢管桩结构设计

6.1 材 料

6.1.1 钢管桩选材在满足使用和安全的前提下,应注意经济合理。

条文推荐的炉种和钢号是根据我国钢材生产的实际情况和港口工程的特点提出的。

碳素钢Q235钢是工程结构中最常用的钢材,其成本较低,易于加工和焊接。16Mn、15MnV钢是低合金结构钢中综合性能比较好的钢,在工程中应用已有多年的经验。由于工程所处环境、海况和气候等条件的不同,钢材腐蚀的特点亦有所不同,设计时应做综合考虑。耐腐蚀特种钢,因价格较贵,选用时应慎重。

Q235钢即是原来的3号钢。根据现行国家标准《碳素结构钢》(GB700)标准,碳素钢的牌号一律按新的方法表示。

6.1.2 对焊条和焊剂的型号表示方法进行了修改。把原规范的焊条型号Txx—x改为按现行标准规定的EX₁X₂X₃X₄。X₁X₂—表示熔敷金属抗拉强度最小值;X₃X₄—表示适宜的焊接位置及药皮类型。焊剂的表示方法按《碳素钢埋弧焊用焊剂》现行国家标准(GB5293)标准规定。根据埋弧焊缝金属的力学性能来划分焊剂的型号。焊剂的型号表示为HJX₁X₂X₃。X₁表示焊缝金属的拉伸力学性能,X₂表示拉伸试样和冲击试样的状态,X₃表示焊缝金属冲击值不小于0.35MPa时的最低试验温度。

选择焊条或焊丝的型号应与构件钢材的强度相适应,焊剂应与焊丝相适应。

6.1.3 对原规范的允许应力设计法作了修改。材料强度设计值是引自现行国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17)。

6.2 计算和构造

6.2.4 为防止钢管桩在锤击沉桩时发生屈皱破坏,对国内已建钢管桩码头工程实例做了调查,钢管桩的径厚比都小于100,个别工程由于壁厚较薄因打桩导致部分钢桩屈皱破坏。根据港口桩基使用经验,并参照有关规范,规定径厚比不宜大于70。

6.2.7 铰接结构构造复杂,且对桩顶腐蚀不利,工程中一般按固接设计。条文中推荐的两种固接形式是工程中常用的。

桩顶锚固受力状态较为复杂,一般采用应力叠加的方法计算。条文中对构造提出了要求,并列出了验算项目,是参照有关规范并结合港口工程使用经验制定的。

6.2.10 钢管桩的纵缝和环缝都属于主要结构焊缝，均应采用对接，不得用搭接与其他形式。为了保证焊接质量，尽可能进行工厂焊接，并采用双面施焊。如不能采取双面施焊，则应设内衬板单面施焊，或采用其他可靠的焊接工艺，否则焊缝强度应适当降低。

6.2.15 接桩前和沉桩完成后对桩顶作局部切割处理是为了避免已遭受较大局部应力损失或桩顶发生局部屈皱变形的桩继续在工程中使用，影响桩的防腐性能和使用要求。

6.3 防 腐 蚀

6.3.2~6.3.3 钢材的锈蚀属电化学腐蚀。但形成蚀腐的原因很多，随着部位和环境等不同而异。因此在防腐蚀措施的选择上，应根据建筑物的重要性、使用年限、当地腐蚀环境、结构部位、施工可能性、维护方法以及材料来源和造价等综合考虑。一般情况下，对海港工程可参考表6.3.3选用。海港中采用耐海水特种钢时，锈蚀较为缓慢，仍需配合防腐措施。河港工程一般采用涂层和增加腐蚀裕量的措施进行防腐。

6.3.5 在工程中，管桩自生产制成到投产使用，可能会有较长的过程，在这段时间内腐蚀量也是不能忽视的。

6.3.7 在腐蚀厚度的计算中，关键的是钢材的年平均腐蚀速度。腐蚀速度的规定主要依据国内外实测资料，并参照有关规范制定的。

7 施工一般规定

7.1 一般要求

7.1.2 打桩震动可能引起岸坡失稳或临近建筑物位移、沉降甚至倒塌毁坏。总结以往经验教训，规范强调设计时必须验算打桩过程中岸坡和临近建筑物的稳定性。施工时应充分了解设计规定和要求，对现场进行调查，根据实际情况制定出沉桩施工程序和具体维护措施。

7.1.4~7.1.5 锤击沉桩控制贯入度的确定是一项重要工作，贯入度过大则影响桩的承载力，过小则沉桩困难，甚至影响锤体和桩身安全。

采用静载荷试验、高应变动力试桩法或试沉桩能较可靠地确定控制贯入度。采用这些方法还可以事先检验所选用的船机设备能否将桩贯穿所在区域的土层，达到设计标高，为施工可行性提供依据。

在试验桩位附近应有代表性钻孔，具有详细的土层分层和土的物理力学指标，以便检验沉桩结果。

7.2 沉桩船机设备的选择

7.2.1 在选择沉桩船时，必须结合桩位的平面图和当地地形，考虑沉桩船有转向和移位的可能性。

桩架高度的确定，原则上是使桩在竖立时，桩尖不触及泥面。富裕高度是防止滑车和桩架顶滑轮损坏及桩锤正常工作的富余量。

7.2.5 沉桩时，采用碟簧桩帽作为辅助设备具有比刚性桩帽减少最大锤击力，延续作用时间，起到“缓冲蓄能、削峰填谷”的作用，同时桩身最大锤击拉、压应力比采用刚性桩帽也有所降低，减少钢筋混凝土桩桩头破损，降低断桩率。

7.3 测量定位

7.3.2 测量控制网、点是施工放样重要依据，细部点放样精度在很大程度上通过控制点直接测设。点位不准将影响工程质量，甚至严重影响工程构筑物使用功能。控制网、点未经验收，其精度高低、质量好坏、坐标数据是否正确可靠难以判断。少数工程未通过这个环节，就施工打桩，造成事故，应引起重视。

7.3.4 沉桩定位中应注意以下事项：

采用任何一种定位方法。应有多余观测。如：角度前方交会法，从理论讲，应用两

台经纬仪就可确定桩位，但在生产实践中时有放错角值，给工程造成损失，故在沉桩定位中规定要采用三台经纬仪，以形成多余观测值。

沉桩定位中，需要采用水准仪确定经纬仪视线在设计桩位处的标高，水准仪由于其结构关系，视准轴与水准管轴不严格平行，形成残留夹角(i 角)，在作业中，应尽量使前、后视接近相等，以消除 i 角影响。

8 混凝土桩施工

8.1 预应力混凝土桩和钢筋混凝土桩的制作

8.1.1 在露天台座制预应力混凝土桩，应注意在钢筋张拉后，避免将张拉好的钢筋骨架在模板中停放时间过长，以影响制桩质量。张拉后不能及时浇筑混凝土时，应将已张拉的钢筋放松到张拉应力的70%，待浇筑前再重新张拉。

空心桩预制工艺采用充气气囊，在浇筑和振捣混凝土时容易上浮和偏移，造成桩的空心部份偏心。据调查，绝大部分断桩是空心偏移过大而造成，应引起重视。

8.1.7 施工时备用桩的数量应根据具体工程条件，参照现行定额由有关单位协商解决。

8.2 预应力混凝土管桩制作及拼接

8.2.4 为避免管节钢筋骨架锈蚀，规定管节外表面不应出现裂缝。由于制造工艺的关系，内壁面目前尚难避免因砂浆聚集而产生收缩裂缝，但考虑到桩沉完成后内壁面成封闭状态，锈蚀少，内壁面保护层相对较厚，因此允许一定裂缝限值。

8.4 沉 桩

8.4.2 走锚容易引起断桩，特别在打斜桩时，施工时对中心锚缆应特别加强。

8.4.6 有关单位对混凝土强度、自然养护龄期与抗锤击的关系进行专题研究。试验证明：预制混凝土桩的抗冲击性能主要取决于混凝土的抗压强度和抗拉强度，强度愈高，抗冲击性能愈好。抗冲击性能同时随龄期的增长而提高。试验建议自然养护龄期不少于28d。采用超标号设计混凝土配合比是行之有效的早强措施之一，可减少自养龄期。但由于各工程具体情况不一，目前尚难以作出具体规定，条文中要求经可靠论证后可适当减少自然养护龄期。

8.4.15 在渗透性较差的饱和土内打桩，由于打桩置换挤土产生的超静水压力难以消散，土体抗剪强度降低。另外，打桩时锤击振动也能降低周围土体的抗剪强度。故一般要根据试验或经验确定打桩速率，以利于岸坡的稳定和消除对临近建筑物的影响。

8.4.18 由于外冲外排冲水管位不易固定，桩尖易失去导向作用，规范中推荐内冲内排和内冲外排。

8.4.20 当桩尖达到一定标高需进行干打时，考虑到干打可能遇到堵管现象，水压力仍应维持0~0.1MPa。

8.5 沉桩控制标准及检测

8.5.1 锤击沉桩控制受地质、锤型和桩型等因素影响，是一个复杂问题，在其他因素确定之后，桩端土层往往对沉桩控制有很大影响。

当桩端持力层为流塑和软塑状粘性土，或埋藏不是很深的可塑状粘性土，只要选锤得当，一般都可将桩打至设计标高。

当桩端持力层为砾石、密实砂土或风化岩层时，沉桩往往是很困难的，如土质不均匀，对沉桩会有很大影响。为了确保桩端能打入硬土层，条文中规定当沉桩贯入度已达到控制贯入度而桩端标高未达到设计标高时，要求继续锤击100mm或锤击30~50击，是为了避免沉桩中出现的虚假现象。当平均贯入度小于控制贯入度，而桩端距设计标高超过3m时，则应作具体分析，过于强调硬打可能使锤与桩均受损坏，必要时可按第8.5.4条规定进行检测。

8.5.2 工程所处的地理位置和沉桩桩型，对沉桩偏位有很大影响。收集了近万根桩偏位资料，经过统计分析，按不同的自然条件和离岸距离，给予不同的允许偏位值。

8.5.4 检测是保证桩基质量重要环节，桩身结构检测，一般采用低应变动力试验法，高应变也可用来检测桩身结构的可靠性，但费用比低应变高。桩垂直承载力应采用高应变动力试验法进行检测。

9 钢管桩施工

9.1 制 作

9.1.5 管端平面倾斜允许偏差和管桩壁厚允许偏差的规定引自有关行业标准。在施工拼装中必须注意克服累积偏差保证整桩质量。

9.1.13 钢管桩的整桩尺寸允许偏差值是为了保证工程质量，参照国外规范，并结合国内的管桩制作和施工精度而制定的。

9.2 焊 接

9.2.5 封底焊采用小直径焊条，主要是保证根部焊透。桩的焊接一般要求在短时间内完成，各层间的焊渣清理，容易疏忽，应予以注意。桩的焊接层数，一般为三层或三层以上，即封底焊，中间层焊和盖面焊。焊道太厚容易引起焊不透和未溶合等缺陷，焊接层数一般是根据板厚和焊接工艺而定。

9.2.8 钢材焊接温度，主要是考虑材料在低温状态下的脆性。由于气温较低，焊接后骤冷容易引起焊缝金属收缩裂缝。但不同的材料、不同的构件，对焊接温度的要求是不同的。低碳钢的可焊性和耐低温焊接性能较好，一般不会出现冷裂缝。普通低合金钢的耐低温焊接性能比低碳钢略差。对普通低合金钢的预热温度和停止焊接的最低温度是参考国内外的有关规范制定的。

9.2.14 各规范对焊缝的探伤检查的定量规定差别很大。在原条文的基础上，对近年已建的十多个工程进行了解，多数工程达到表9.2.14规定。

根据钢管桩的受力特点，对环缝的要求应高于纵缝，重点探伤位置应放在容易产生质量问题的焊接起弧点、焊接交叉处及桩身受弯矩较大的部位。对特殊工程，如直接用钢管桩作为靠船设施、外海工程或承受荷载较大较复杂的工程，探伤数量应增加，增加数量根据实际情况确定。

9.2.15 由于钢管桩要求受较大的锤击力和使用时的波浪等可变荷载作用，焊缝有裂缝、未溶合、未焊透会削弱桩的有效截面，产生局部腐蚀，引起应力集中使得焊缝损坏。

9.2.17 对不合格的焊缝的修补次数不宜超过两次，是因为多次的修补会引起焊缝金属的脆性增加，甚至会降低焊缝附近母材的强度。

9.5 沉 桩

9.5.2 锅盖式替打适用于陆上小口径钢管桩，一般不设滑槽。目前港口工程一般采用钓钟式替打，用导向板插入钢管桩内足够长度，避免因船体横摇替打导向板滑出。

10 垂直静载荷试验

10.1 一般要求

10.1.5 试验桩与锚桩对称布置，试验桩居中，可以使试桩设备受力均匀。当桩因偏位等原因造成不对称时，也应通过锚桩架装配中的调整来加以改善。不对称单根锚桩计算受力不应大于对称布置时单根锚桩的1.10~1.15。

锚桩与试验桩的间距(以中心距计)是综合国内外有关规范的规定，并结合我国水上、陆上试桩经验确定的。

10.1.8 钻孔离开试验桩的距离不能太远，以确切掌握试桩处地层的变化，但也不能太

近，以减少钻孔取土扰动对试桩产生影响，因此参照国内外有关资料作了3m~10m范围的规定。

10.1.9 气象、水文条件对水上试桩的正常进行有很大影响，恶劣的天气不宜进行试验。试验中途遇到的突发性气象，水文变化要订真细致地记录，注意其对试验成果的影响。

10.2 试验设备

10.2.1 预计最大试验荷载是籍助于有关规范和工程经验资料计算所得，计算结果会与实际情况存在一定差异，为了使试验不至因设备能力不足而中止，故加载设备的能力应备留不得小于30%~50%富余。

锚桩及张锚体系必须具有足够的抗拔能力和一定的安全储备，指的是：(1)锚桩入土深度满足侧摩阻力抗拔要求；(2)锚桩设置的抗拔主筋、锚桩架、锚拉杆及锚桩接头满足抗拔能力要求；(3)除满足上述抗拔能力要求外，尚应留有一定安全储备，防止因桩偏位、锚桩架安装不对称、锚桩架变形、锚筋焊接误差及焊接应力等影响因素引起的受力不均匀。

水上试桩，特别是外海的试桩其基准桩的稳定可靠十分重要，否则，在潮流、风浪等影响下就不能准确地量测到桩顶在荷载作用下的位移，水域试桩的基准架系统不宜采用悬臂独支式的结构。

试验桩偏心受力的情况往往是安装对中不准确、桩身本身歪斜、桩顶不平整等因素造成，应注意避免。另外，试桩顶上的油压千斤顶垫支过高或由于安装测力传感器的球支座等使桩顶出现多个球铰串联的情况，受压桩稍有侧向位移和震动即易突然失稳，应予注意。

10.3 载荷试验

10.3.1 快速维持荷载法与慢速维持荷载法是我国目前最为常用的方法，两者所确定的极限承载力大致相同，其误差也被认为能为工程应用所接受。在水域环境较差和外海的情况下，一般多采用快速维持荷载法，以避免可能出现的恶劣气候环境因素对试验成果造成影响。

10.3.2 确定荷载分级要考虑两个方面：一是为了较准确地试验得到桩的极限承载力，分级数不能太少，一般10~12级可以满足要求；二是为了避免试验时间拖得过长，分级数不能太多。

采用等量分级的好处是比较直观，各级荷载下的沉降变化容易分析判断，当采用S—Logt等图形辅助分析时更应采用等量分级才能判断。

10.3.8 确定桩的极限承载力的Q—S曲线由于受多种因素，形态有诸多变化。

当Q—S曲线上有可判定承载力的明显陡降段时，如 $\frac{\Delta S_{n+1}}{\Delta Q_{n+1}} / \frac{\Delta S}{\Delta Q} \geq 5$ 。且 $S_{n+1} > 40\text{mm}$ 时，

n点对应的荷载为极限荷载是比较明确的。

当Q—S曲线上有陡降段，但尚不够明显时，需借助数值法等帮助判定。

方法之一以Q—S曲线陡降起始点的众多资料为基础，进行统计分析，制定了随桩长L变化的函数判别标准。

方法之二是采用无量纲标准，其数值标准0.3(或0.2)均为实测试桩资料统计的结果。

经200多根实测试桩资料判定验算，此两种方法与原规范0.1mm/kN标准比较，符合率有显著提高。

方法之三是绘制沉降—时间对数(S—Logt)曲线，这是考虑了桩受荷后沉降速率的改变特性。

当Q—S 曲线没有明显陡降，难以判定极限承载力时，一般情况可在Q—S 曲线上取桩顶总沉降量 $S = 40\text{mm}$ 的相对应的荷载作为近似值，根据统计，钢管桩和长度较长的混凝土管桩，其极限承载力对应的桩顶总沉降有可能超过 40mm ，因此应适当加大。

10.3.10 上拔荷载试验时试桩本体承受轴向拉力，因此其主筋应要求能承受上拔荷载，在对混凝土桩进行上拔试验时，应注意当桩身混凝土开裂以后，其桩顶上拔量测定值会发生明显的增加，而桩侧抗拔阻力未必达到极限。

11 水平静载荷载试验

11.1 一般要求

11.1.3 试桩的间歇时间与土体受沉桩扰动后的恢复有关，这与垂直静载荷试验规定相同，但当桩先进行垂直静载荷试验再进行水平静载荷试验的情况下，两次试验之间的间歇一般取 48h ，这是因为垂直静载荷试验时桩侧土受到垂直向的剪切破坏，而在水平方向并未受到太大的扰动，所以间歇时间取如复压的规定时间是足够的。

11.1.5 桩承受水平荷载的性状与桩周浅层土质有密切的关系。承受水平荷载的桩其最大弯矩点一般在泥面下 $2.5 \sim 5$ 倍桩径左右，第一弯矩零点一般在 $13 \sim 16$ 倍桩径左右，为使试验成果与土质情况能够挂钩，要求在 16 倍桩径深度内进行常规的土质试验。

11.3 荷载试验

11.3.1 水平荷载试验的方法一般有单向单循环维持荷载法、单向多循环维持荷载法，双向单循环维持荷载法，双向多循环维持荷载法，以及各种混合式的试验方法等。从目前的实践来看，还是单向单循环维持荷载法简捷明了，应用经验较多，在有指定要求时也可采用其他试验方法。

11.3.3 加卸载时每级维持的时间是考虑采用单向单循环法时桩周土体受力变形达到基本稳定的时间而定的，如果采用其他试验方法，则可参照执行。

11.3.4 试验终止加载的条件考虑两个方面：一是因在很多情况下试验桩由工程桩兼用，因此不允许让试验桩承受过大的水平荷载或发生过大的侧向变形，这种情况由最大水平荷载或最大水平变形控制；二是允许进行到破坏的试验情况，这种情况则以试验中出现变形突增、变形速率明显加快以及地基土出现明显斜裂缝等为标记。

11.3.5 根据试验得到的H—Y曲线，可采用附录C.2中的方法反求得到 m 值。

P—Y曲线是水平荷载作用下反映地基土应力—应变特性的关系曲线，它是桩侧土体固有的特性。P—Y曲线可以根据实测桩身弯矩分布曲线，利用弹性地基梁的力集度—剪力分布—弯矩分布—挠角分布—挠度分布之间的微分关系，采用有限差分法或有限元法求解。求解时要考虑土的非线性特性，一般需进行迭代计算。

11.3.6 桩在水平荷载作用下，随着荷载的增大，桩身应力和水平变形也逐渐增大，桩侧土体逐渐发生自上而下发展的塑性开展。由于桩的特征荷载同时与桩身本体的抗弯刚度、抗弯强度及桩侧土体的性质有关，因此桩在水平荷载作用下的极限荷载实际上同时反映了桩材本身和地基土变形两方面的能力。

由于水平静载试验的结果是根据试验桩的特定条件得出的，与实际结构物的桩在荷载条件、约束条件等方面是不尽相同的，因此应用时应充分注意作具体分析。

附录A 桩基工程勘察要点

地质勘察是保证桩基工程设计、施工质量的重要环节之一。根据港口工程桩基使用情况，并参照有关规范对桩基工程勘察要点作了规定。

在硬土层埋藏不是很深的情况下，工程中通常以该土层作为桩端持力层。查明硬土层的顶面标高，对确定桩的承载力和沉桩都是十分重要的，应予以重视。如相邻两钻孔

间硬土层顶面标高相差较大，对确定桩长或沉桩都会带来影响，因此应补钻孔。

静力触探能较好地划分土层，对判断沉桩条件和确定承载力是重要的，在港口工程中有条件时予以采用。

附录中关于土的物理力学性能指标的试验内容是考虑桩基工程的一般情况，应根据具体情况选用。

附录D 桩的吊运内力计算

采用了新编程序，在优化计算方法上，取消了原规范吊点为对称布置的限制。附录所提供的桩吊运参数适用于桩长 60m的情况。

1. 吊运参数

(1)下吊索计算长度 S (不包括捆绑长度)：在其他条件不变时，对于不同的 S 有不同的最优吊点位置，相应的控制弯矩变化规律为 S 越大控制弯矩越小。但在施工中， S 过大会产生困难，兼顾吊立弯矩和施工工艺，取用 $S = 0.5L$ 。

在其他条件不变且吊点位置一致时，弯矩随 S 变化的规律为：负弯矩随 S 的增大而减小，正弯矩随 S 的增大而增大。修订提供的吊点位置及弯矩系数表是针对 $S = 0.5L$ 优化所得。

(2)最大入水长度 L_s ：计算中取最大入水长度为10m，以适应深水港口施工需要。

(3)最小计算吊高与最大计算吊高： $H_{min} = 0.8L$ ，但不得小于20m； $H_{max} = 1.5L$ 。 H_{min} 越小负弯矩越大， H_{max} 越大正弯矩越大，因此施工时应注意这一控制条件。

2. 弯矩计算系数

桩的吊点位置确定后，可以计算出各类桩型，各种截面的桩对应于不同桩长的吊运最大弯矩标准值 M_k 、相应弯矩系数为 $\mu = M_k/qL^2$ 。对A型桩，相同桩长、不同截面桩的弯矩系数是一致的。但对B型和C型桩，同一桩长，不同截面的桩，由于空心段单位长度的重量与实心段单位长度重量的比值各不相同，其弯矩系数是不相同的，但差异并不大。为了简化，表格数据为常用截面桩的包络值。

3. 水平吊运

将水平吊运状态下的桩按刚性支承连续计算，从而得到水平吊运时的弯曲系数，考虑到水平吊运使用的钢桁架刚度与钢丝绳长短误差对计算假定的影响，在确定表D.0.1-2相应公式的系数时已计入1.2的增大系数。但在施工中，仍应保证起重机钢桁架有足够刚度，四根钢丝绳的长短差异也应尽量减少，使实际情况与计算假定相符合。

附录G 选锤参考资料

收集近期69个典型工程近万根桩的沉桩资料。柴油锤按锤能力的大小分成三个档次，同一档次中锤的能力基本接近。蒸汽锤目前很少使用，为了使地方中小型工程有参考的依据，仍予保留。

1. 桩端打入硬土层和中密砂层的深度

17个典型工程统计资料表明，MB—40锤可将桩沉入 $N = 20 \sim 40$ 的粘性土约8m~10m，沉入粉质粘土或风化残积层一般在10m左右，少数达15m。表G将沉入硬粘土深度定为8m~10m沉入砂层的深度根据资料确定为5m~8m。

MB-70锤穿透硬土层和砂层的能力，35个典型工程的统计资料表明，沉入硬土层在10m~15m之间，砂层在15m左右。表G中将打入硬土层深度确定为10m~15m；中密砂层为8m~15m。D-80锤锤击功能比MB-70锤略大，但实际沉入硬土层和砂层的能力与MB-70锤没有明显差别。

2. 桩端打入密实砂层和风化岩的深度及其相应的贯入度

桩端打入密实砂层和风化岩，沉桩贯入度明显减小。采用MB-40锤只能将桩端打入密实砂层顶或沉入0.5m左右，采用MB-70锤可将桩端打入密实砂层0.5m~1.5m，这些数值是根据实际沉桩资料统计得出来的。

桩端打入N = 50左右的风化岩，一般情况下比打入密实砂层要容易。

钢管桩打入密实砂层和风化岩的深度比预制混凝土桩深1m左右。

考虑到桩锤的极限使用值，采用MB-40锤，沉桩贯入度可以3mm/击终锤，MB-70锤沉桩贯入度可以5mm/击终锤，钢管桩由于本身的结构强度较好，贯入度可略为减少。