

输电线路杆塔带翼板螺旋桩基础技术规程

Standard for winged helical pile for transmission line tower
foundation

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
3 基本规定.....	6
3.1 适用范围	6
3.2 设计原则	6
3.3 勘探要求	7
3.4 选型与布置	8
4 材料和制作.....	11
4.1 螺旋桩及翼板	11
4.2 承台	11
4.3 连接件及其他	11
5 设计与计算.....	13
5.1 基桩顶部作用效应计算	13
5.2 基桩轴向抗拔承载力计算	15
5.3 基桩轴向抗压承载力计算	18
5.4 基桩横向承载力计算	21
5.5 带翼板螺旋桩结构强度验算	24
5.6 承台及连接计算	26
5.7 防腐设计	27
5.8 构造要求	27
6 施 工.....	30

6.1 一般规定	30
6.2 施工准备	30
6.3 沉桩施工	32
6.4 承台施工	35
6.5 施工安全和环境保护	36
7 质量检验与工程验收.....	37
7.1 一般规定	37
7.2 施工前检验	37
7.3 施工过程检验	37
7.4 施工后检验	38
7.5 工程质量验收	39
附录 A 带翼板螺旋桩基础分类图.....	41
附录 B 带翼板螺旋桩设计参数取值.....	47
附录 C 部分材料性能指标	49
附录 D 旋拧扭矩计算.....	52
用词说明.....	54
引用标准名录.....	55
条文说明.....	57

1 总 则

1.0.1 为规范输电线路杆塔带翼板螺旋桩基础技术，做到安全适用、技术先进、确保质量、保护环境、经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于输电线路杆塔带翼板螺旋桩基础的设计、施工及验收。

1.0.3 输电线路杆塔带翼板螺旋桩基础除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 带翼板螺旋桩 winged helical pile

由翼板和螺旋桩组成的桩基础。

2.1.2 翼板 wing plate

通过套筒与钢管连接的钢板，翼板位于桩基上部，与桩轴在同一平面，可以提高桩基水平承载性能。

2.1.3 螺旋桩 helical pile

由钢管、螺旋叶片和接头组成的桩基础。

2.1.4 螺旋叶片 helical plate

焊接在钢管上的螺旋状叶片，能够帮助桩基旋入施工，且可以增大螺旋桩与土的接触面积。

2.2 符 号

下列符号适用于本规程。

A_g	钢管的截面面积
A_w^b	翼板底面与土体接触面积
b	圆形钢管外径
B_j	第 j 个螺旋叶片直径
c_j	第 j 个螺旋叶片上部 λB_j 范围内土体黏聚力，多个土层时可按土层厚度加权平均值
c_w	翼板深度范围内土体黏聚力
d	圆形钢管内径
E_0	翼板深度范围内的静止侧向土压力合力

EI	钢管的抗弯刚度
f	材料的抗拉（抗压）强度设计值、抗剪强度设计值
f_v 、 f_{vk}	材料的抗剪强度设计值、许用抗剪强度
G_f	带翼板螺旋桩基础承台底面以上部分重量，稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力
H_j	第 j 个螺旋叶片埋深
H_k	标准组合作用下基桩承受的横向作用力
H_j^t 、 H_j^c	第 j 个螺旋叶片上部、下部剪切体顶面埋深
K_t 、 K_c	抗拔、抗压承载力安全系数
K_p	翼板深度范围内被动土压力系数
K_w	翼板水平承载力安全系数
L	钢管埋置于地基土体内的长度
L_0	上部剧烈扰动深度和近螺旋叶片附近随叶片移动的土体厚度之和
l	基础中与承台连接的基桩数量
m	地基水平抗力系数的比例系数
M_{x0} 、 M_{y0}	作用于承台底部，绕通过群桩形心的 x 、 y 主轴的力矩
n	所计算基桩的螺旋叶片数量
P_t	土层保护防腐措施的保护效率
Q_{xf} 、 Q_{yf} 、 Q_{zf}	带翼板螺旋桩基础上部承台与地基相互作用时所发挥的 x 向、 y 向、 z 向承载力
Q_{tj} 、 Q_{cj}	极限状态基桩自上而下第 j 个螺旋叶片所发挥的抗拔、抗压承载力
Q_{sh}^t 、 Q_{sh}^c ； Q_w^t 、 Q_w^c	极限状态基桩钢管发挥的极限抗拔、抗压承载力；极限状态基桩翼板发挥的极限抗拔、抗压承载力
Q_{tu} 、 Q_{cu}	基桩轴向抗拔、抗压极限承载力标准值
q_s^t 、 q_s^c	基桩钢管抗拔、抗压时侧壁摩阻力
q_p 、 q_w	底部螺旋叶片、翼板下部土体极限端阻力

R_{ha}	基桩横向承载力特征值
T_{x0} 、 T_{y0} 、 T_{z0}	上部杆塔对基础承台顶部 x 向、 y 向、 z 向作用力，一般采用标准组合作用效应值
T_{xi} 、 T_{yi} 、 T_{zi}	第 i 个基桩顶部 x 向、 y 向、 z 向作用力
T_{Ai} 、 T_{Bi}	第 i 个基桩顶部轴向、横向作用力；上拔和下压工况时分别对应 T_{Ai}^t 、 T_{Bi}^t 和 T_{Ai}^c 、 T_{Bi}^c
T_q^m 、 T_q^n	旋拧作用的扭矩上限、下限值
t	设计使用年限
t_1	涂层保护防腐措施的使用年限
t_h	螺旋叶片厚度
t_w	翼板厚度，或焊接缝的有效高度
V	单面腐蚀速率
W_b	单侧翼板的宽度
W_h	单侧翼板的高度
W_{he}	翼板的有效深度
W_p	钢管抗扭截面模量
x_i 、 x_k 、 y_i 、 y_k	第 i 、 k 个基桩至 y 、 x 轴的距离，其中 y 、 x 轴通过桩基顶部形心
α	钢管的相对柔度系数
γ_q	复合型基础上部基础或承台所发挥的竖向承载力作用系数
γ_s^w	翼板深度范围内土的重度
γ_j	第 j 个螺旋叶片上部土体平均重度
γ'_j	第 j 个螺旋叶片上部土体平均有效重度，其中地下水位以下部分土体采用浮重度
$\Delta\delta$	设计使用年限内单面腐蚀厚度预留量
ε_w	钢管与翼板的连接影响系数
λ	极限状态螺旋叶片上方（或下方）剪切圆柱土体高度影响系数
μ_w	翼板与土体的摩擦系数
ν_h	钢管顶部横向位移系数

χ_{0a}	钢管顶部允许横向位移
ψ	侧压影响系数

3 基本规定

3.1 适用范围

3.1.1 带翼板螺旋桩基础，适用地层包括粉土、流塑~硬塑状态的黏性土、松散~中密状态的砂土和碎石土层（最大粒径不宜大于 50mm），以及黄土、软土等特殊地层。

3.1.2 带翼板螺旋桩基础，可适用于场地环境对钢结构腐蚀等级为中、弱、微腐蚀的土壤环境，不宜在强腐蚀环境场地应用。

3.1.3 坚硬黏性土以及密实的砂土、碎石土层采用带翼板螺旋桩基础，应经原位工艺验证，并宜通过试验确定设计与施工工艺参数。

3.2 设计原则

3.2.1 带翼板螺旋桩基础设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

3.2.2 带翼板螺旋桩基础应根据具体条件分别进行下列设计计算与验算校核：

- a) 应根据基础的使用功能和受力特征分别进行基桩的轴向（抗压与抗拔）承载力计算和横向承载力计算校核，并考虑群桩效应；
- b) 应对带翼板螺旋桩构件和承台结构强度进行计算校核，带翼板螺旋桩结构应分别根据施工、服役期间受力情况进行结构强度校核；
- c) 当带翼板螺旋桩端部平面以下存在软弱下卧层时，应参照 JGJ 94 进行软弱下卧层承载力验算；
- d) 应进行带翼板螺旋桩防腐蚀设计；
- e) 特殊情况下需进行抗震、变形计算时，按 JGJ 94 相关规定执行。

3.2.3 带翼板螺旋桩基础设计荷载效应与相应的抗力应符合下列规定：

- a) 确定桩数和布置方式时，作用力采用传至承台底面的荷载效应标准组合；相应的抗力采用基桩或基础承载力特征值；

- b) 带翼板螺旋桩构件强度验算时，运行工作状态下作用力采用传至承台底面的荷载效应基本组合，抗力采用强度设计值；施工旋拧状态下作用力采用基桩顶部扭矩上限值，抗力采用强度许用值或标准值；
- c) 计算承台结构承载力、确定承台尺寸和钢筋混凝土承台配筋时，作用力采用传至承台顶面的荷载效应基本组合；
- d) 基桩竖向承载力安全系数 K 按表 3-1 取值。

3.2.4 设计应提出工程螺旋桩旋拧扭矩限值（含上、下限值）要求，经验欠缺时宜选取典型场地经试验确定扭矩限值。

表 3-1 安全系数取值表

杆塔类别	安全系数		
	抗拔承载力 (K_t)		抗压承载力 (K_c)
	单桩型	群桩型	
悬垂型杆塔	2.0	1.6	2.0
耐张直线 (0° 转角) 及悬垂转角杆塔	2.5	2.0	
耐张转角、终端、大跨越塔	3.0	2.5	

3.3 勘探要求

3.3.1 拟采用带翼板螺旋桩基础的塔位宜按照“一基一勘，逐腿提资”的岩土工程勘察原则，合理选用勘测手段。

- a) 宜采用钻探与坑探、地质调查等手段相结合的方式探明碎石粒径分布情况；
- b) 宜采用静力触探法提出黏性土、粉土地层桩侧摩阻力、不排水剪切强度等取值建议；

- c) 宜采用标准贯入或动力触探法提出砂土、碎石土地层密实度以及相关参数取值建议；
- d) 地下环境腐蚀性宜按 GB 50021 进行评价，大气环境腐蚀性可按 JGJ/T 251 进行评价。

3.3.2 勘察应灵活运用钻探、井探、槽探、坑探，以及电法、电磁法等勘探方法，在满足输电线路工程常规勘察要求的同时重点查明以下内容：

- a) 查明塔位各腿地基岩土层类别及其分布特征、土层颗粒级配、黏性土状态、砂土密实度、地基土的实际饱和度、各层岩土侧摩阻力等，查明地下水埋藏情况，提出地下水位及其变化幅度；查明场地土冻结深度；
- b) 分析提出各塔位带翼板螺旋桩基础适用性建议，提出螺旋叶片持力层建议、翼板埋深建议；对带翼板螺旋桩基础施工、运行中可能出现的岩土工程问题进行预测分析，并提出相应建议；
- c) 开展场地土对钢结构的腐蚀性评价，地下水埋藏较浅（不大于 2.0m）时还需开展场地水对螺旋桩及翼板钢结构的腐蚀性评价，提出水、土对钢结构的腐蚀等级；当有现浇钢筋混凝土承台基础组件时，并视地下水情况，开展场地水、土对钢筋混凝土腐蚀性评价，提出相应腐蚀等级。

3.3.3 腐蚀性可依据 GB 50021 进行评价，也可按当地服役或退役线路地下钢制构件（含钢制螺旋桩、拉线棒等，不含钢绞线）的腐蚀特征及环境试验测试结果，作为腐蚀速率、深度取值以及防腐措施有效性评价的参考。

3.4 选型与布置

3.4.1 带翼板螺旋桩的主要结构型式见附录 A.1，螺旋叶片主要外形见附录 A.2，桩头常用外形见附录 A.3。

3.4.2 螺旋桩基础应用的主要结构类型包括（示意图见附录 A.7）：

- a) 按基桩数量可分为单桩型和群桩型；
- b) 按承台材料分为钢筋混凝土承台式、钢结构承台式；

- c) 按承载力计算是否考虑上部承台或装置的承载力可分为复合型基础和普通型基础；
- d) 带翼板螺旋桩布置采用竖直布置方式；
- e) 螺旋叶片主要外形可分为圆形、螺旋渐进形、方形，桩头主要型式可分为斜坡状、十字锥状、圆锥状。

3.4.3 翼板的主要结构类型包括（示意图见附录 A.4）：

- a) 翼板的主要外形可分为矩形、梯形等形状；
- b) 翼板的主要构造包括燕尾状、反燕尾状、矩形状等构造；
- c) 翼板与钢管之间连接方式可采用套接、焊接、螺栓锚固（示意图见附录 A.6）。

3.4.4 应综合考虑基础作用力、地质条件、施工设备最大输出扭矩、经济性等因素，确定基础结构型式及布置方式，并遵循以下规定：

- a) 带翼板螺旋桩竖直布置，钢管中心距不宜小于 2 倍的最大螺旋叶片直径
- b) 带翼板螺旋桩最大埋深不宜大于 30 倍最大螺旋叶片直径，首个叶片的埋深不宜小于 5 倍首个叶片直径；
- c) 翼板的埋置深度、方位角宜根据承台型式、基桩排布方式、横向荷载方向等因素确定；翼板的最大面积受力面应与基桩顶部的最大横向荷载方向垂直，且群桩型中各翼板不碰撞；
- d) 当采用高承台型基础时，翼板宜贴近地表布置，埋深可取 1~2 倍的单侧翼板宽度；当采用复合型基础时，翼板宜紧贴承台底部布置。

3.4.5 承台结构选型及布置按以下要求执行：

- a) 承台可采用钢制、现浇钢筋混凝土、钢筋混凝土预制等结构形式；宜采取立柱偏心、地脚螺栓或孔位偏心等结构措施以减少承台底部倾覆力矩作用；

- b) 现浇钢筋混凝土承台与基桩连接可采用现浇锚固形式，并应采取局部配筋、设置锚固件等可靠的锚固措施；预制钢筋混凝土承台与基桩可采用焊接、螺栓、灌浆连接形式，其中当采用焊接、螺栓连接方案时应在承台预制加工中设置固件，当采用灌浆连接方案时应采取增大接触面粗糙度等锚固增强措施；
- c) 钢制承台可采用塔脚板式、靴板式、法兰式等结构型式。

3.4.6 上部结构与承台连接方式按以下要求执行：

- a) 钢制承台与上部结构可采用焊接、螺栓连接方式，其中焊接时可采用与上部结构主材强度、材质等一致的构件或直接将上部结构塔脚板焊接于承台板上；
- b) 钢筋混凝土承台与上部结构宜采用地脚栓连接方式。

4 材料和制作

4.1 螺旋桩及翼板

4.1.1 螺旋桩和翼板宜采用 Q235、Q355 或 Q420 钢材，不应低于 B 级钢的质量要求，质量应符合 GB/T 700、GB/T 1591 和 GB 55006 的规定。

4.1.2 钢制螺旋桩的钢管宜采用热轧无缝钢管，其性能指标应符合 GB/T 8162 的要求；可采用直缝电焊钢管并符合 GB/T 13793 的要求。

4.1.3 当结构工作温度低于-40℃时，钢材质量等级应满足不低于 C 级钢的要求，且 40mm 以上厚度钢板质量等级不宜低于 D 级钢。

4.1.4 同一塔位螺旋桩及翼板钢材宜采取同一型号钢种。

4.2 承台

4.2.1 当带翼板螺旋桩基础承台采用钢筋混凝土结构材料时，应按 GB 50010、GB 50007 的规定进行混凝土强度、保护层厚度、配筋等结构设计；现浇混凝土强度等级不应低于 C25，预制混凝土强度等级不应低于 C30。

4.2.2 当带翼板螺旋桩基础承台采用钢材时，同一塔位承台钢材与螺旋桩及翼板钢材宜采取同一型号钢种。

4.2.3 当采用 40mm 以上厚度的钢板焊接时，应采取防止钢材层状撕裂的设计措施。

4.3 连接件及其他

4.3.1 热浸镀锌螺栓宜采用 4.8 级、6.8 级或 8.8 级，材质和机械特性应分别符合 GB/T 3098.1、GB/T 3098.2 和 DL/T 284 规定的要求。

4.3.2 钢材手工焊焊条应符合 GB/T 5117 和 GB/T 5118 规定的要求。

4.3.3 自动焊和半自动焊应采用和主体金属强度相适应的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属抗拉强度不低于相应手工焊焊条的性能指标；焊丝应符合 GB 55006 规定的要求。

4.3.4 地脚螺栓和翼板螺栓应符合 DL/T 5486、DL/T1236 规定的要求。

5 设计与计算

5.1 基桩顶部作用效应计算

5.1.1 当基桩承受水平力较小时，可按式（5-1）和（5-2）计算承台下部基桩顶部的作用力，当基桩承受水平力较大时，可按 JGJ 94 相关规定计算。

a) 竖向（ z 向）力按式（5-1）计算。

	$\begin{aligned} \text{上拔工况: } T_{zi} &= \frac{T_{z0} - G_f - \gamma_q Q_{zf}}{l} \pm \frac{M_{x0} y_i}{\sum y_k^2} \pm \frac{M_{y0} x_i}{\sum x_k^2} \\ \text{下压工况: } T_{zi} &= \frac{T_{z0} + G_f - \gamma_q Q_{zf}}{l} \pm \frac{M_{x0} y_i}{\sum y_k^2} \pm \frac{M_{y0} x_i}{\sum x_k^2} \end{aligned}$	(5-1)
--	--	-------

式中：

l ——基础中与承台连接的基桩数量；

T_{zi} ——第 i ($i=1、2、\dots、m$) 个基桩顶部 z 向作用力；

T_{z0} ——上部杆塔对基础承台顶部 z 向作用力，一般采用标准组合作用效应值；

G_f ——带翼板螺旋桩基础承台底面以上部分重量，稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

Q_{zf} ——带翼板螺旋桩基础上部承台与地基相互作用时所发挥的竖向极限承载力，其中普通型基础可取零；复合型基础可依据 DL/T 5219 等标准按承台所对应的基础类型进行计算；

γ_q ——复合型基础上部基础或承台所发挥的竖向承载力作用系数，当荷载效应采用标准组合且竖向承载力 Q_{zf} 采用极限值时 γ_q 取 0.45；

$x_i、x_k；y_i、y_k$ ——第 $i、k$ 个基桩至 $y、x$ 轴的距离，其中 $y、x$ 轴通过基桩群形心；

$M_{x0}、M_{y0}$ ——作用于承台底部，绕通过群桩形心的 $x、y$ 主轴的力矩，一般

按荷载效应标准组合计算。

b) 水平（ x 向和 y 向）力按式（5-2）计算。

	$T_{xi} = (T_{x0} - \gamma_q Q_{xf})/l$	(5-2)
	$T_{yi} = (T_{y0} - \gamma_q Q_{yf})/l$	

式中：

T_{xi} 、 T_{yi} ——第 i （ $i=1、2、……、m$ ）个基桩顶部水平 x 向、 y 向作用力，其中 x 向为横担方向， y 向为垂直横担方向；

T_{x0} 、 T_{y0} ——上部杆塔对基础承台顶部水平 x 向、 y 向作用力，一般按标准组合作用效应计算；

Q_{xf} 、 Q_{yf} ——承台与地基相互作用时所发挥的 x 向、 y 向承载力，该承载力采用极限值时 γ_q 取 0.45，特征值时 γ_q 取 0.9，复合型基础承台承载力可按相关技术标准所对应的基础类型进行计算，普通型基础承台宜考虑侧壁土抗力作用；

其他参数意义同前。

5.1.2 基桩轴向力 T_{Ai} 与横向力 T_{Bi} 可按式（5-3）进行转换计算。

	$T_{Ai} = T_{zi}$	(5-3)
	$T_{Bi} = \sqrt{T_{xi}^2 + T_{yi}^2}$	

式中：

T_{Ai} 、 T_{Bi} ——第 i （ $i=1、2、……、m$ ）个基桩顶部轴向、横向作用力，上拔和下压工况时分别对应 T_{Ai}^t 、 T_{Bi}^t 和 T_{Ai}^c 、 T_{Bi}^c ；

其他参数意义同前。

5.2 基桩轴向抗拔承载力计算

5.2.1 基桩抗拔承载力应符合以下要求：

	$T_{Ai}^t \leq \frac{Q_{tu}}{K_t}$	(5-4)
--	------------------------------------	-------

式中：

T_{Ai}^t ——上拔工况荷载效应标准组合下第（ $i=1、2、\dots、l$ ）根基桩轴向上拔作用力，kN；

Q_{tu} ——基桩轴向抗拔极限承载力，kN，宜按试验结果取值，当无试验值时按式（5-5）计算得到；

K_t ——抗拔承载力安全系数按表 3-1 取值。

5.2.2 基桩抗拔极限承载力 Q_{tu} 可按式（5-5）计算：

	$Q_{tu} = \sum_{j=1}^n Q_{tj} + Q_{sh}^t + Q_w^t$	(5-5)
--	---	-------

式中：

n ——所计算基桩的螺旋叶片数量；

Q_{tj} ——极限状态基桩自上而下第 j （ $j=1、2、\dots、n$ ）个螺旋叶片所发挥的抗拔承载力，kN；

Q_{sh}^t ——极限状态基桩钢管发挥的抗拔承载力，kN；

Q_w^t ——极限状态基桩翼板发挥的抗拔承载力，kN。

5.2.3 极限状态第 j 个螺旋叶片所发挥的抗拔承载力 Q_{tj} 可按式（5-6）计算（计算示意如图 5-1）。

	$Q_{vj} = \pi B_j \left[\frac{B_j H_j}{4} \gamma_j' + \frac{\psi(H_j^2 - H_j^{t^2})}{2} \gamma_j + (H_j - H_j^t) c_j \right]$	(5-6)
--	--	-------

式中：

B_j ——第 j 个螺旋叶片直径，m；

H_j ——第 j 个螺旋叶片埋深，m；

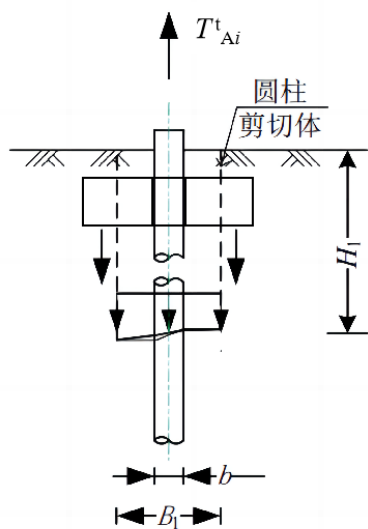
H_j^t ——第 j 个螺旋叶片上部计算抗拔剪切体顶面埋深，m，当 $H_1 \leq \lambda B_1$ 或 $(H_j - H_{j-1}) \leq \lambda B_1$ 时分别取 0 或 H_{j-1} ，当 $H_1 > \lambda B_1$ 或 $(H_j - H_{j-1}) > \lambda B_1$ 时分别取 $H_1 - \lambda B_1$ 或 $H_j - \lambda B_j$ ，其中 λ 一般可取 1.0~5.0，具体可按附录 B.1 取值；

γ_j' ——第 j 个螺旋叶片上部土体平均有效重度，kN/m³，其中地下水部分土体采用浮重度；

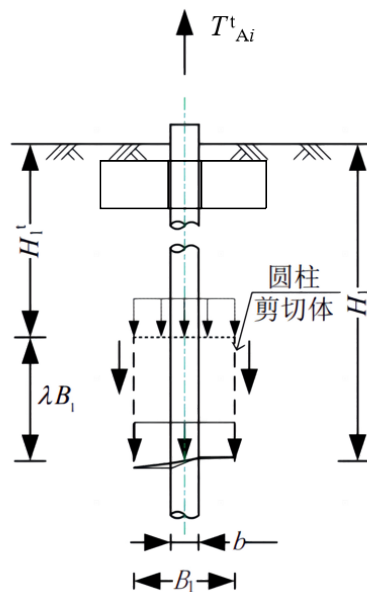
γ_j ——第 j 个螺旋叶片上部土体平均重度，kN/m³；

ψ ——侧压影响系数，可按附录 B.2 经验取值，当计算螺旋叶片与相邻基桩相近深度位置螺旋叶片的水平中心距不大于 3 倍的较大螺旋叶片直径时，需考虑群桩效应，计算该螺旋叶片的抗拔承载力时的侧压系数取值进行 0.9 倍折减；

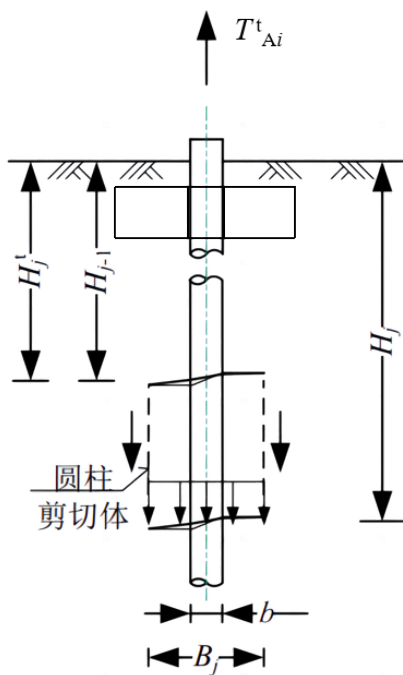
c_j ——第 j 个螺旋叶片上部 λB_j 范围内土体黏聚力，kPa，取不排水强度，存在多个土层时可取螺旋叶片上部 λB_j 范围内按土体厚度计算的加权平均取值，螺旋桩埋深范围内土层较均匀时，各螺旋叶片可取其埋深范围内土体黏聚力的加权平均值。



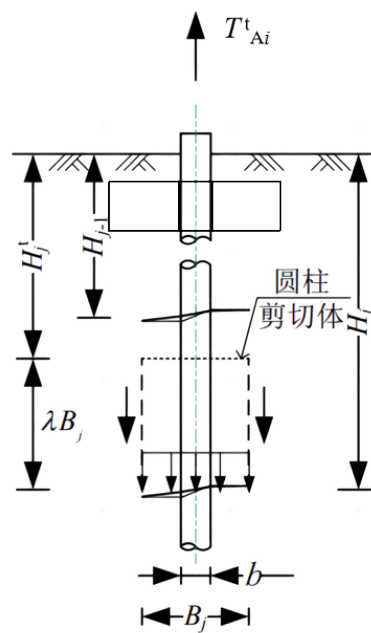
(a) 首个叶片 $H_1 \leq \lambda B_1$ 时



(b) 首个叶片 $H_1 > \lambda B_1$ 时



(c) 底部叶片 $(H_j - H_{j-1}) \leq \lambda B_1$ 时



(d) 底部叶片 $(H_j - H_{j-1}) > \lambda B_1$ 时

图 5-1 螺旋叶片上部土体抗拔阻力计算示意图

5.2.4 极限状态钢管发挥的抗拔承载力 Q_{sh}^t 按式 (5-7) 计算。

	$Q_{sh}^t = \pi b(L - L_0)q_s^t$	(5-7)
--	----------------------------------	-------

式中：

b ——钢管外径，m；

L ——钢管埋置于地基土体内的长度，m；

L_0 ——上部剧烈扰动深度（可取 1.0~2.0m）和近螺旋叶片附近随叶片移动的土体厚度（可取 0.5 倍 $\sum \lambda B_j$ ）之和，m；

q_s^t ——钢管抗拔时侧壁摩擦力，kPa，可取 JGJ 94 有关钢管桩侧摩阻力的 0.6 倍；

5.2.5 极限状态翼板发挥的抗拔承载力 Q_w^t 按式（5-8）计算。

	$Q_w^t = \varepsilon_w \mu_w E_0$	(5-8)
--	-----------------------------------	-------

式中：

ε_w ——钢管与翼板的连接影响系数，当钢管与翼板采用套接时， $\varepsilon_w = 0$ ，当钢管与翼板采用焊接或螺栓锚接时， $\varepsilon_w = 1$ ；

μ_w ——翼板与土体的摩擦系数；

E_0 ——翼板深度范围内，作用于基板上的静止侧向土压力合力，kN。

5.3 基桩轴向抗压承载力计算

5.3.1 基桩抗压承载力应符合（5-9）要求：

	$T_{Ai}^c \leq \frac{Q_{cu}}{K_c}$	(5-9)
--	------------------------------------	-------

式中：

T_{Ai}^c ——下压工况荷载效应标准组合第 i 根基桩轴向下压作用力，kN；

Q_{cu} ——带翼板螺旋桩基础基桩抗压极限承载力标准值，kN，宜按试验结果取值，当无试验值时可按式（5-10）~（5-13）计算得到；

K_c ——抗压承载力安全系数，按表 3-1 取值。

5.3.2 基桩抗压极限承载力可按式（5-10）计算。

	$Q_{cu} = \sum_{j=1}^{n-1} Q_{cj} + Q_{cn} + Q_{sh}^c + Q_w^c$	（5-10）
--	--	--------

式中：

Q_{cj} ——极限状态基桩自上而下第 j （ $j=1、2、……、n-1$ ）个螺旋叶片所发挥的下压承载力，kN；

Q_{sh}^c ——极限状态基桩钢管发挥的下压承载力，kN；

Q_w^c ——极限状态基桩翼板发挥的下压承载力，kN。

5.3.3 极限状态第 j 个螺旋叶片所发挥的下压承载力 Q_{cj} 可按式（5-11）计算，计算示意图如图 5-2：

$Q_{cj} = \pi B_j \left[\frac{\psi(H_j^2 - H_j^2) \gamma_j}{2} + (H_j^c - H_j) c_j \right], \text{ 其中 } j=1, 2, \dots, n-1$ $Q_{cn} = \frac{\pi B_n^2 q_p}{4}$	（5-11）
---	--------

式中：

q_p ——螺旋叶片下部土体极限端阻力，kPa，可按 JGJ 94 有关极限端阻力标准值取值；

B_j ——第 j 个螺旋叶片直径，m，其中 B_n 为第 n 个螺旋叶片直径；

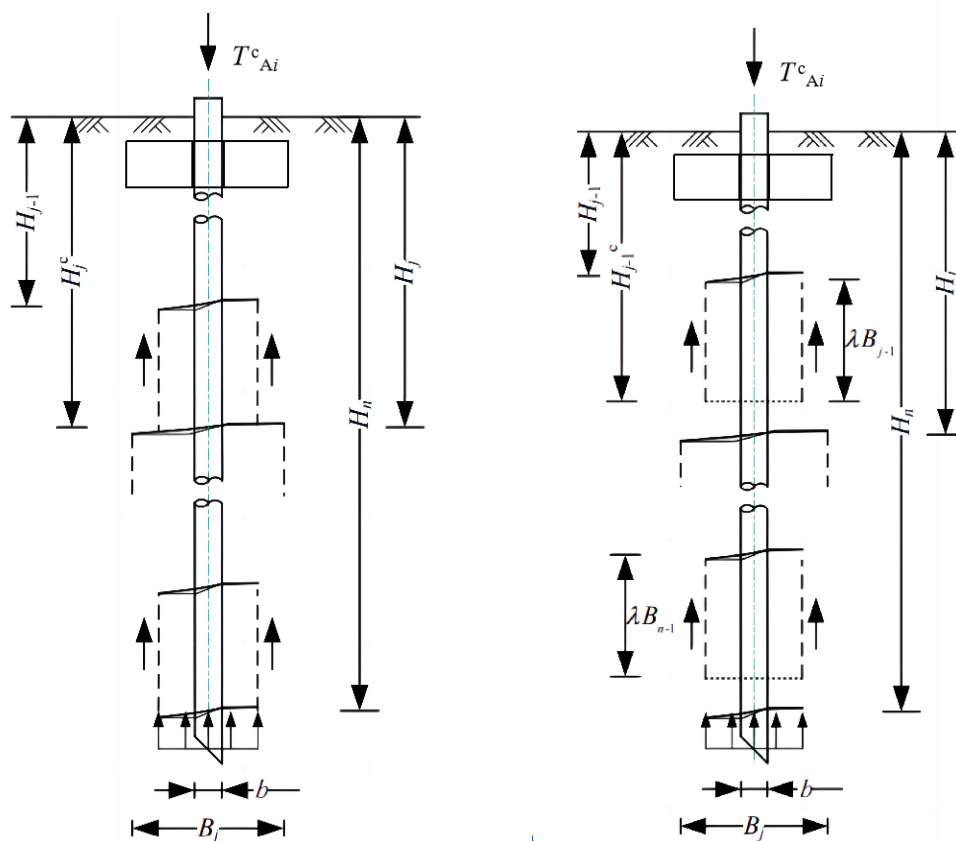
H_j ——第 j 个螺旋叶片埋深，m；

H_j^c ——第 j 个螺旋叶片下部剪切体顶面埋深，m，当 $(H_{j+1} - H_j) \leq \lambda B_j$ 时分别取 H_{j+1} ，当 $(H_{j+1} - H_j) > \lambda B_j$ 时分别取 $H_j + \lambda B_j$ ，其中 λ 可按附录 B.1 取值。

γ_j ——第 j 个螺旋叶片上部土体平均重度，kN/m³；

c_j ——第 j 个螺旋叶片下部 λB_j 范围内土体黏聚力，kPa，取不排水剪强度，多个土层时可在计算范围内按厚度计算取加权平均值；

其他参数意义同前。



(a) $(H_{j+1} - H_j) \leq \lambda B_j$ 时

(b) $(H_{j+1} - H_j) > \lambda B_j$ 时

图 5-2 螺旋叶片下部土体抗压承载力计算示意图

5.3.4 极限状态钢管发挥的抗压承载力 Q_{sh}^c 按式 (5-12) 计算。

	$Q_{sh}^c = \pi b(L - L_0)q_s^c$	(5-12)
--	----------------------------------	--------

式中：

q_s^c ——钢管抗压时侧壁摩擦力，kPa，可取 JGJ 94 有关钢管桩侧摩阻力的 0.6 倍；

其他参数意义同前。

5.3.5 极限状态翼板发挥的抗压承载力 Q_w^c 按式（5-13）计算。

	$Q_w^c = \varepsilon_w(\mu_w E_0 + A_w^b q_w)$	(5-13)
--	--	--------

式中：

A_w^b ——基桩翼板底部与土体接触面积之和， m^2 ；

q_w ——基桩翼板底部土体极限端阻力，kPa，可按 JGJ 94 有关极限端阻力标准值取值；

其他参数意义同前。

5.4 基桩横向承载力计算

5.4.1 基桩横向承载力应符合式（5-14）要求：

	$H_k \leq R_{ha}$	(5-14)
--	-------------------	--------

式中：

H_k ——标准组合作用下基桩承受的横向作用力，可取 $\max\{T_{Bi}\}$ ，kN；

R_{ha} ——基桩横向承载力特征值，kN，按试验取值时可取水平向极限承载力的一半，无试验值时按 5.4.2 条计算。

5.4.2 基桩横向承载力特征值可按式（5-15）计算，其中翼板以矩形状外形工况为算例。

$R_{ha} = 0.75\alpha^3 EI \frac{\chi_{0a}}{v_h} + \left(\frac{1}{2} \gamma_s^w W_{he}^2 K_p + 2c_w W_{he} \sqrt{K_p} \right) 2W_b / K_w$	(5-15)
---	--------

式中：

- EI ——钢管的抗弯刚度， $\text{kN}\cdot\text{m}^2$ ；
- α ——桩的相对柔度系数， $\alpha = \sqrt[5]{mb/EI}$ ，其中 m 为地基水平抗力系数的比例系数， kN/m^4 ，可参照桩基础相关技术标准取值；
- b ——钢管的外径， m ；
- χ_{0a} ——钢管顶部允许横向位移， m ；
- v_h ——钢管顶部横向位移系数，可按表 5-1 取值，桩顶约束情况按基桩实际确定，一般可按固结取值；
- γ_s^w ——翼板深度范围内土的重度， kN/m^3 ；
- W_{he} ——翼板的有效深度，当 $W_h \leq 2.5W_b$ 时 $W_{he} = \beta \cdot W_h$ ， β 可按照图 5-3 翼高比与翼板有效深度比关系曲线选取，当 $W_h > 2.5W_b$ 时 $W_{he} = 2.5W_b$ ；
- W_b ——单侧翼板的宽度， m ；
- W_h ——单侧翼板的高度， m ；
- K_p ——翼板深度范围内被动土压力系数；
- c_w ——翼板深度范围内土体黏聚力， kPa ；
- K_w ——翼板水平承载力安全系数，1.5~2.0，翼板高宽比 $W_h/W_b < 0.6$ 时取 1.5， $W_h/W_b > 2.5$ 时取 2.0，中间插值。

表 5-1 钢管顶部水平位移系数

桩顶约束情况	钢管的换算埋深 (αL)	v_h
铰接、自由	4.0	2.441
	3.5	2.502

	3.0	2.727
	2.8	2.905
	2.6	3.163
	2.4	3.526
固结	4.0	0.940
	3.5	0.970
	3.0	1.028
	2.8	1.055
	2.6	1.079
	2.4	1.095
注：当 $\alpha L > 4.0$ 时，按 $\alpha L = 4.0$ 取值。		

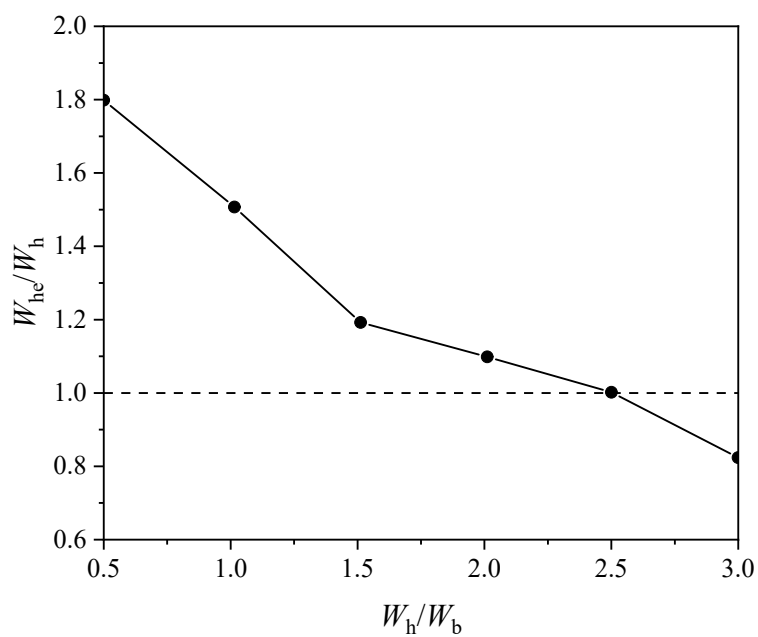


图 5-3 翼高比与翼板有效深度比关系曲线

5.4.3 基桩横向承载力特征值可按 p - y 曲线法进行计算，相关 p - y 曲线参数应根据荷载试验结果分析确定。

5.5 带翼板螺旋桩结构强度验算

5.5.1 钢管截面强度验算按以下规定执行。

a) 基础处于运行工作状态时，钢管横截面承载力应满足式（5-16）要求。

	$T_{Ai}^{\max} \leq f \cdot A_g$	(5-16)
--	----------------------------------	--------

式中：

$T_{Ai}^{\max}$ ——基本组合荷载作用下基桩所承受的最大轴向作用力设计值，kN；

A_g ——钢管的截面面积， m^2 ，计算时钢管管壁厚度不计防腐设计所采取的预留厚度量；

f ——钢管材料的抗拉、抗压强度设计值，kPa。

b) 螺旋桩施工旋拧状态时，钢管截面所能承受的抗扭承载力应满足式(5-17)要求。

	$T_q^{\max} \leq f_{vk} \cdot W_p$	(5-17)
--	------------------------------------	--------

式中：

$T_q^{\max}$ ——螺旋桩旋拧作用的扭矩上限值， $kN \cdot m$ ；

W_p ——钢管抗扭截面模量， m^3 ，按下式计算： $W_p = 1.15\pi(b^4 - d^4)/(16b)$ ，其中 b 、 d 为圆形桩钢管的外径与内径，取考虑防腐设计所采取的预留厚度后的外径和内径值， m ；

f_{vk} ——钢管材料的许用抗剪强度，kPa，可取屈服强度 f_y 的 $1/\sqrt{3}$ 倍。

5.5.2 螺旋叶片强度验算按以下规定执行。

a) 基础处于运行工作状态时，螺旋叶片及叶片与钢管焊缝抗剪承载力均应满足式（5-18）要求。

	单个叶片时: $T_{Ai}^{\max} \leq \pi b t \cdot f_v$ 多个叶片时: $T_{Ai}^{\max} \leq n \pi b t_h \cdot f_v / 1.2$	(5-18)
--	--	--------

式中:

t_h ——螺旋叶片厚度, 或焊接缝的有效高度, m, 其中, 叶片厚度不计防腐设计所采取的预留厚度量;

f_v ——螺旋叶片及叶片与钢管焊缝抗剪强度设计值, kPa;

其他参数意义同前。

b) 螺旋桩施工旋拧状态时, 螺旋叶片强度及叶片与钢管焊缝抗剪承载力均应满足式 (5-19) 要求。

	单个叶片时: $T_q^{\max} \leq \pi b^2 t \cdot f_{vk} / 2$ 多个叶片时: $T_q^{\max} \leq n \pi b^2 t \cdot f_{vk} / 2.4$	(5-19)
--	--	--------

式中:

t ——螺旋叶片厚度, 或焊接缝的有效高度, m, 其中, 叶片厚度不计防腐设计所采取的预留厚度量;

f_{vk} ——螺旋叶片及叶片与钢管焊缝材料的许用抗剪强度, kPa。

其他参数意义同前。

5.5.3 基础处于运行工作状态时, 单侧翼板与钢管焊缝抗剪承载力 $T_w^{\max}$ 均应满足式 (5-20) 要求。

	$T_w^{\max} \leq W_h t_w \cdot f_v$	(5-20)
--	-------------------------------------	--------

式中:

t_w ——翼板厚度, 或焊接缝的有效高度, m, 其中, 翼板厚度不计防腐设计所采取的预留厚度量;

其他参数意义同前。

5.6 承台及连接计算

5.6.1 承台宜根据受力特点、结构类型进行设计计算，并遵循以下规定：

- a) 钢筋混凝土承台按 GB 50007 相关规定进行计算，配筋可按 GB 50010 相关规定进行计算。
- b) 钢制承台宜根据 GB 50017、GB 50661 和 GB 55006 进行构件结构承载力、焊缝强度的验算并符合相关规定；内力可采用有限元方法进行计算分析。

5.6.2 上部杆塔结构与承台连接方式及要求如下：

- a) 对于钢制承台，可采用焊接、螺栓连接方式，并按 GB 50017、GB 50661 和 GB 55006 相关规定进行设计验算；焊接时可采用与上部结构主材强度、材质等一致的构件或直接将上部结构塔脚板焊接于承台板上。
- b) 对于钢筋混凝土承台，宜采用地脚螺栓连接方式，并按 GB 50010 相关规定进行设计验算；当采用预埋锚固件并通过螺栓连接或焊接时可按 GB 50010 有关装配式结构的规定进行设计验算。

5.6.3 基桩与承台间可采用螺栓、焊缝、注浆锚固连接，按 GB 50017 相关规定进行设计验算。

5.6.4 翼板与钢管间当采用螺栓、焊缝连接时（见附录 A.6），按 GB 50017 相关规定进行设计验算。

5.6.5 钢管段间接续可采用套接式、法兰式等连接方式（见附录 A.5）；套接式应按 5.5 节分别设计验算运行工作和施工旋拧状态下接续套管及其与钢管间焊缝强度，并设计配置连接螺栓；法兰式应按 GB 50017 相关规定分别按运行工作状态和旋拧施工状态进行设计验算。

5.7 防腐设计

5.7.1 带翼板螺旋桩基础钢构件应进行防腐蚀设计，并采取合理的防腐蚀措施，包括涂覆防腐蚀涂层（含热镀锌、涂刷防锈漆等）、预留腐蚀裕量、阴极保护等。

5.7.2 钢管、螺旋叶片、翼板均应采取预留腐蚀厚度的设计措施，钢管内壁与外界环境密闭隔绝时，可不考虑内壁腐蚀。预留厚度量可按类似环境下钢结构腐蚀实测数据确定，也可按式（5-21）计算。

	$\Delta\delta \leq V[(1 - P_t)t_1 + (t - t_1)]$	(5-21)
--	---	--------

式中：

- t ——设计使用年限，a；
- $\Delta\delta$ —— t 时间内单面腐蚀厚度预留量，mm；
- V ——单面腐蚀速率，mm/a，可取 0.02~0.03mm/a；
- P_t ——涂层保护防腐措施的保护效率，一般取 50%~95%；
- t_1 ——涂层保护防腐措施的使用年限，a。

5.7.3 钢制承台及连接的防腐蚀设计宜满足 GB 50046、JGJ/T 251 防腐要求；地上钢承台可结合混凝土保护帽进行防腐保护，并可对保护帽进行构造配筋；未采用混凝土包覆的钢制承台和埋深 1.0m 范围内的钢管外壁和翼板宜涂覆防腐蚀涂层，当地表土松散、植被发育、地表干湿交替明显时宜适当增大涂覆深度范围。

5.7.4 在地下水环境对钢结构具有中、强腐蚀且螺旋叶片常年处于地下水位以下时，经论证后可采取阴极保护防腐措施，可参考 GB 21448 进行防腐蚀设计。

5.8 构造要求

5.8.1 螺旋叶片设置遵循以下要求：

- a) 叶片直径不宜小于 200mm 且不宜大于 1200mm；宜取钢管外径的 2~5 倍，且地基土侧压影响系数 ψ 越大，叶片直径与钢管外径之比宜越小；
- b) 叶片厚度不宜小于 5mm；同时考虑腐蚀影响，应合理预留腐蚀裕度；

- c) 单根螺旋桩叶片数量不宜大于 5 片，直径的变化不宜超过 3 种；
- d) 叶片螺距宜取叶片直径的 $1/6 \sim 1/3$ ，同一根桩各叶片螺距宜相同；
- e) 底部叶片宜安装在与钢管底端部竖直净距为 2~4 倍钢管外径的位置，叶片间距宜取叶片螺距整数倍。

5.8.2 钢管外形尺寸遵循以下规定：

- a) 钢管外径不宜小于 60mm，壁厚不宜小于 5mm；
- b) 钢管的最下端应有尖端，长度可取 50~200mm；
- c) 钢管上部宜设有加劲钢牛腿，用于翼板的限位与固定；
- d) 钢管的分节长度应根据施工条件确定，并应尽量减少接头数量，接头段强度不应低于钢管强度。

5.8.3 钢管的分节长度应根据施工条件确定，并应尽量减少接头数量，接头段强度不应低于钢管强度。

- a) 应尽可能少分段；分段长度应与旋拧工艺及设备相适应，并综合考虑原材料规格、制作条件、运输和装卸能力；长度不宜超过 6.5m；
- b) 套接式连接螺栓数量不宜少于 2 个；螺栓孔径宜比螺栓直径大 1.5mm；套接处接续钢管与钢管的内外径差不宜大于 4mm；
- c) 法兰式接头连接螺栓宜采用双螺帽或其他防松措施。

5.8.4 翼板设置遵循以下规定：

- a) 翼板数量不宜小于 1 扇；单侧翼板的宽度不宜小于 2 倍的钢管外径，高度不宜小于 1 倍最大螺旋叶片直径；
- b) 翼板厚度不宜小于 5mm；同时考虑腐蚀影响，应合理预留腐蚀裕度；
- c) 当基桩顶部为低承台时，翼板与钢管之间宜采用套接连接方式；当基桩顶部为高承台时，翼板与钢管之间宜采用螺栓锚固、焊接的连接方式；
- d) 当翼板与钢管间采用螺栓锚固、焊接方法连接时，翼板套筒高度宜高出

翼板顶部大于 100mm 并高出地面，用于安装螺栓或焊接；

- e) 锚固式连接螺栓数量不宜少于 2 个；螺栓孔径宜比螺栓直径大 1.5mm；
- f) 翼板套筒内径与螺旋桩外径差不宜大于 4mm；
- g) 翼板夹角宜根据基桩布置情况、输电线路杆塔受力情况等确定。

5.8.5 承台除了满足结构承载力及上部杆塔和下部基桩的连接要求外，还需遵循以下规定：

- a) 对于钢筋混凝土承台，最小厚度不宜小于 400mm；钢管锚入承台深度不宜小于 3.5 倍钢管外径，当采取有效锚固措施时锚入深度可适当减小；基桩锚入现浇承台时局部应采取加强配筋或设置锚固件的措施；预制承台与基桩采用焊接、螺栓连接时应设置锚固件，当采用灌浆连接时应采取增加接触面粗糙度等增强措施；
- b) 对于钢制承台，与基桩顶部焊接时应设置加劲肋；与铁塔采用螺栓连接时应设置保护帽；承台与基桩连接的螺栓孔径不宜大于 1.3 倍螺栓直径，同时应配置垫片。

5.8.6 采用预制构件（含混凝土预制和钢制）时其与地基及基桩间的缝隙宜注浆处理。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 带翼板螺旋桩施工前应取得施工区域岩土工程勘察报告，了解不良地质情况及地下障碍物，并采取相应措施，相关资料和措施应符合标准 GB 50021 的建议和规定。

6.1.2 施工前应熟悉施工图，进行施工图交底会审。发现施工图有疑问、差错时，应及时提出意见和建议。

6.1.3 带翼板螺旋桩施工前应制定施工方案，并进行工艺测试。

6.1.4 制作及施工前应向作业人员进行安全、技术交底；制作及施工过程中应做好记录。

6.2 施工准备

6.2.1 应对材料与组件进行各项检查，螺旋桩数量、规格、尺寸、孔位，螺旋叶片尺寸、螺距、位置，翼板规格、外观、尺寸等应符合设计要求；检查焊接处焊缝外观、尺寸、质量，若符合要求则依据检验批进行报验。

6.2.2 螺旋桩和翼板存放场地上宜清除杂草及其他杂物，保持钢材干净；严禁与酸、碱、盐、水泥等对钢材有侵蚀性的材料堆放在一起。

6.2.3 运输装卸堆码过程中应注意保护钢材表面防锈蚀镀锌或涂漆，避免挤压磨损。

6.2.4 各材料与组件按品种、规格有序摆放，并贴好标识；露天堆放螺旋桩应俯放，桩口朝下，以免积水生锈；物资保管人员应定期检查钢材情况，并且在下雨、雪天气必须盖土工布防潮。

6.2.5 机械准备应满足以下要求：

a) 应对施工螺旋桩钻机和注浆泵等施工机械进行性能检查, 施工机械应满足现场施工需要。针对比较复杂的场地和地质条件, 应通过开展施工机械的实操试验确定设计和施工方法;

b) 施工螺旋桩钻机的钻进扭矩应不小于螺旋桩设计钻进扭矩的 1.5 倍。

6.2.6 施工场地应事先平整, 清除桩位处地上、地下一切障碍 (包括大石块、树根和生活垃圾等)。

6.2.7 定位放样应满足以下要求:

a) 应根据施工图进行放样分坑, 以塔基中心点为基准点, 宜利用测量精度较高的仪器测定各基础中心点位置, 并通过测量根开和对角线长度的方法监测位置的准确性;

b) 应依据确定的四个塔脚中心点设置现场施工标线, 包括根开线和对角线;

c) 应按施工图进行基础基桩桩位的放样, 确定基础中各基桩地表处旋入点的初始桩位, 以及翼板安装的方位角。

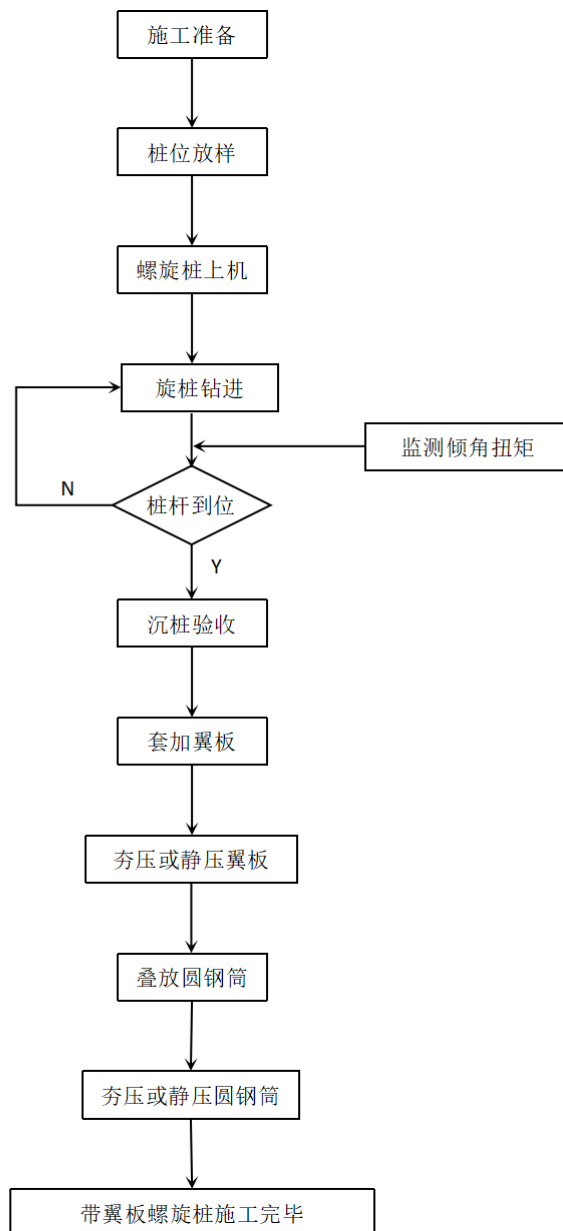


图 6-1 带翼板螺旋桩施工流程图

6.3 沉桩施工

6.3.1 组装旋拧机械与螺旋桩构件的主要流程：

- 将需旋拧的基桩吊运至制定场地；
- 进行安装前的外观检查；
- 连接动力头与螺旋桩构件。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/736034134121010131>