

Q/GDW

国 家 电 网 有 限 公 司 企 业 标 准

Q/GDW 10584—2022

代替 Q/GDW 10584—2018

架空输电线路螺旋锚基础设计规范

Code for design of helical anchor foundation of overhead transmission line

2022-03-14 发布

2022-03-14 实施

国家电网有限公司

发 布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 基本规定.....	2
4.1 适用范围.....	2
4.2 设计原则.....	2
4.3 其他要求.....	3
5 结构布置.....	3
5.1 结构型式分类.....	3
5.2 选型设计与布置要求.....	4
6 基础材料.....	4
6.1 基锚与承台.....	4
6.2 连接件及其他.....	4
7 螺旋锚计算.....	4
7.1 基锚顶部作用效应计算.....	5
7.2 基锚轴向抗拔承载力验算.....	6
7.3 基锚轴向抗压承载力验算.....	8
7.4 基锚横向承载力验算.....	9
7.5 螺旋锚结构强度验算.....	10
8 承台及连接计算.....	11
8.1 承台.....	11
8.2 连接.....	11
9 构造要求.....	11
9.1 基锚.....	11
9.2 承台及连接.....	12
10 勘测与防腐蚀设计要求.....	12
10.1 勘测.....	12
10.2 防腐蚀设计.....	13
11 试验检测.....	13
11.1 一般规定.....	13

11.2 基本试验.....	13
11.3 工程检测.....	13
12 加工及施工技术要求.....	14
12.1 加工制作.....	14
12.2 基础施工.....	14
13 环保与水保.....	15
附录 A（资料性） 螺旋锚基础分类图.....	16
附录 B（规范性） 螺旋锚设计参数取值.....	19
附录 C（资料性） 部分材料性能指标.....	21
附录 D（资料性） 旋拧扭矩计算.....	23
附录 E（规范性） 主要试验测试方法.....	24
编制说明	25

前 言

本文件依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求，按照《国家电网有限公司技术标准管理办法》的规定起草。

本文件代替 Q/GDW 10584—2018，与 Q/GDW 10584—2018 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了适用范围、设计原则等总体要求（见第4章），包含钢制承台、斜锚布置等结构型式的分类、选型设计与布置要求（见第5章），斜锚轴向与横向作用力以及水平承载力设计计算方法（见第7章），勘测与防腐蚀设计要求及腐蚀裕量计算方法（见第10章），试验检测要求（见第11章），环保与水保（见第14章）等内容；增加了承载力计算等关键设计指标取值建议（见附录B）、螺旋锚施工旋拧扭矩计算方法（见附录D）、静载试验与扭矩监测方法（见附录E）；
- b) 更改了基锚承载力计算及其结构强度验算方法与要求、加工与施工技术要求等内容（见第12章，2018版的第8.1条和第9章）；
- c) 补充并细化了基锚及基础构造、材料性能等要求（见第9章、附录A）；
- d) 删除了有关土壤的内摩擦角和凝聚力设计值等规范性附录内容（见2018版的附录）。

本文件由国家电网有限公司基建部提出并解释。

本文件由国家电网有限公司科技部归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国网山东省电力公司、国网浙江省电力有限公司、国网青海省电力公司、国网河北省电力有限公司、国网辽宁省电力有限公司、国网河南省电力公司、中国电建集团青海省电力设计院有限公司、中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司、淄博齐林电力设计院有限公司、绍兴大明电力设计院有限公司、中国电建集团河南省电力勘测设计院有限公司、国网山东省电力公司日照供电公司。

本文件主要起草人：程永锋、丁士君、李奥森、丁民涛、满银、李其莹、李庆军、鲍俊立、蔡勇、潘连武、崔强、朱照清、武坤、赵勇、薛峰、聂治豹、冯自霞、刘洪亮、冯炳、黄春玲、霍春燕、张楷、王丽欢、黄世暉、苏轶、樊东峰、武东亚、郭咏华、刘华清、孔森、王宝齐、刘佳龙、张琰、张友泉、丁锐、许志勇、杨延勇、王奇、谭青海、毛生海、赵国仲、谢天祥、吕忠华、韩志伟、陈科技、焦利欣、崔学涛、潘曰涛、安宁、厉建新、李楚。

本文件 2011 年 1 月首次发布，2018 年 12 月第一次修订，本次为第二次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网有限公司科技部。

架空输电线路螺旋锚基础设计规范

1 范围

本文件规定了架空输电线路螺旋锚基础适用范围、设计原则、结构选型布置、材料、螺旋锚设计计算、承台及连接计算、构造、勘测与防腐蚀设计、试验检测、加工及施工技术、环保与水保要求。

本文件适用于架空输电线路螺旋锚基础的工程设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱标准
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 8162 结构用无缝钢管
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 13793 直缝电焊钢管
- GB/T 17395 无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB 21448 埋地钢质管道阴极保护技术规范
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50046 工业建筑防腐蚀设计标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50661 钢结构焊接规范
- GB 55006 钢结构通用规范
- DL/T 5219 架空输电线路基础设计技术规程
- DL/T 5486 架空输电线路杆塔结构设计技术规程
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- JGJ/T 251 建筑钢结构防腐蚀技术规程
- Q/GDW 1841 架空输电线路基础设计规范
- Q/GDW 11880—2018 架空输电线路地基基础工程基本术语

3 术语和定义

Q/GDW 11880—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

螺旋锚基础 helical anchor foundation

由钢筋混凝土承台或钢结构连接装置与螺旋锚连接组成的基础。

注：本文件中钢筋混凝土承台或钢结构连接装置统称为承台。

[来源：Q/GDW 11880—2018，2.2.2.2, 有修改]

3.2

螺旋锚 helical anchor

由锚杆、锚盘、锚头等组成的锚固件（见附录A.1）。

3.3

基锚 foundation anchor

基础中的单根螺旋锚。

3.4

螺旋锚复合基础 helical anchor composite foundation

由螺旋锚和开挖回填基础、掏挖基础等组成的一种复合基础。

3.5

扭矩限值 torque limits

用于基锚旋拧机械设备的选配、结构强度验算、承载力评价的控制扭矩值。分为上限值和下限值，其中上限值指特定的螺旋锚规格及水文地质条件下在某一置信区间内的基锚最大旋拧扭矩，常用于旋拧机械选配和强度验算；下限值指基锚满足设计承载力要求的最小旋拧扭矩，常用于承载力评价。

3.6

群锚效应 group anchor effects

群锚型基础受竖向荷载后，由于各桩之间及其与地基土的相互作用耦合时，导致群锚竖向承载力发挥程度低于各单锚承载力之和的现象。

4 基本规定

4.1 适用范围

4.1.1 螺旋锚基础可适用于粉土、流塑~硬塑状态的黏性土、松散~中密状态的砂土和碎石土，以及黄土、软土等特殊土层，且最大粒径不宜大于 50 mm。

4.1.2 螺旋锚基础可适用于场地土、水对钢结构腐蚀等级为微、弱、中腐蚀的土壤环境，强腐蚀环境经论证后方可采用。

4.1.3 坚硬的黏性土以及密实的砂土、碎石土层应用时应经原位工艺验证，并宜通过试验确定设计与施工工艺参数。

4.2 设计原则

- 4.2.1 螺旋锚基础设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。
- 4.2.2 螺旋锚基础应进行下列计算：
- 基锚的轴向（含竖向上拔和下压）承载力计算和横向（含水平）承载力计算，并考虑群锚效应；
 - 螺旋锚构件和承台结构承载力计算，螺旋锚尚应根据施工受力情况进行锚杆横截面抗拉和抗剪、锚盘与锚杆间焊缝抗剪、锚盘抗剪强度验算；
 - 存在软弱下卧层时参照 JGJ 94 进行软弱下卧层承载力验算；
 - 防腐蚀设计；
 - 特殊情况下需进行抗震、变形计算时，按 JGJ 94 相关规定执行。
- 4.2.3 螺旋锚基础设计荷载效应与相应的抗力应符合下列规定：
- 确定基锚数量和布置方式时，作用采用传至承台底面的荷载效应标准组合；相应的抗力采用基锚或基础承载力特征值。
 - 基锚构件强度验算时，运行工作状态下作用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采用基锚顶部扭矩上限值，抗力采用强度许用值或标准值。
 - 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，作用采用传至承台顶面的荷载效应基本组合。
 - 基锚竖向承载力安全系数 K 按表 1 取值。

表 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)
	单锚型	群锚型	
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	

4.3 其他要求

- 4.3.1 采用新工艺、新材料或无工程应用经验时，宜在设计阶段进行基本试验。
- 4.3.2 设计应提出工程基锚旋拧扭矩限值（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。
- 4.3.3 季节性冻土地区承台埋深应大于土壤的标准冻结深度，并满足 GB 50021 相关要求；多年冻土地区尚应遵照相应规范要求。

5 结构布置

5.1 结构型式分类

螺旋锚基础应用的主要结构型式和布置方式见附录 A.2~A.5，其主要结构类型包括：

- 按基锚数量可分为单锚型和群锚型；
- 按承台材料可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能力可分为复合型基础和普通型基础；
- d) 基锚布置可分为竖直和斜向 2 种方式；
- e) 锚盘主要外形可分为圆形、螺旋渐进形、方形，锚头主要型式可分为斜坡状、十字锥状、圆锥状。

5.2 选型设计与布置要求

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) 单锚型可采用与塔腿主材相同倾角的斜向布置方式；群锚型可采用合理的基锚斜向布置方式以尽可能减少基锚横向力作用；基锚与竖直向的角度不宜大于 25° 。
- b) 当基锚采用斜向布置时，基础中各锚杆的轴线延长线可相交于上部杆塔主材重心轴线附近；基础承台宜采取立柱偏心或地脚螺栓偏心等结构措施；承台宜根据基锚数量、排布方式等因素确定外形；钢制承台可采用塔脚板式、靴板式、法兰式等结构型式。
- c) 基锚竖向布置时，锚杆中心距不宜小于 2 倍的最大锚盘直径；斜向布置时，相邻基锚的底盘中心距不宜小于 3 倍的最大锚盘直径，其他同深度锚盘的中心距不宜小于 2 倍相应位置锚盘直径。
- d) 基锚最大埋深不宜大于 30 倍最大锚盘直径；首盘的埋置深度不宜小于 5 倍的首盘直径。

6 基础材料

6.1 基锚与承台

材料选用遵循以下要求：

- a) 采用钢制时宜使用 Q235、Q355、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 的规定。
- b) 锚杆宜优先采用热轧无缝钢管，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。
- c) 同一塔位基锚宜采用相同钢种。
- d) 当环境极端最低气温低于 -40°C 时，承台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；当承台采用 40 mm 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。
- e) 基础混凝土强度等级现浇时不应低于 C25，预制时不应低于 C30。

6.2 连接件及其他

材料选用遵循以下要求：

- a) 热浸镀锌螺栓宜采用 4.8 级、6.8 级、8.8 级，材质和机械特性应分别符合 GB/T 3098.1 和 GB/T 3098.2 及 DL/T 284 规定的要求。
- b) 钢材手工焊焊条应符合 GB/T 5117 和 GB/T 5118 规定的要求。
- c) 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。
- d) 地脚螺栓应符合 DL/T 5486 规定的要求。

7 螺旋锚计算

7.1 基锚顶部作用效应计算

7.1.1 当基锚承受水平力较小时可按下列公式计算承台下部基锚顶部的作用力，当基锚承受水平力较大时按 JGJ 94 相关规定计算。

a) 竖向 (z 向) 力按式 (1) 计算。

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

式中:

l ——基础中与承台连接的基锚数量。

T_{zi} ——第 i ($i=1, 2, \dots, l$) 个基锚顶部 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 ——螺旋锚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} ——螺旋锚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 Q/GDW 1841、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 ——第 i, k 个基锚至 y, x 轴的距离, 其中 y, x 轴通过基锚群形心;

y_i, y_k

M_{x0}, M_{y0} ——作用于承台底部, 绕通过群锚形心的 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) 力可按式 (2) 计算。

$$\begin{cases} T_{xi} = \frac{T_{x0} - \gamma_q Q_{xf}}{l} \\ T_{yi} = \frac{T_{y0} - \gamma_q Q_{yf}}{l} \end{cases} \quad (2)$$

式中:

T_{xi}, T_{yi} ——第 i ($i=1, 2, \dots, l$) 个基锚顶部水平 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。

7.1.2 基锚轴向力 T_{Ai} 与横向力 T_{Bi} 可按式 (3) 进行转换计算。

$$\begin{cases} T_{Ai} = T_{zi} \cdot \cos \varphi_i + \sqrt{T_{xi}^2 + T_{yi}^2} \cdot \cos(\theta_{Ti} - \theta_i) \sin \varphi_i \\ T_{Bi} = \sqrt{T_{zi}^2 \cdot \sin^2 \varphi_i + (T_{xi}^2 + T_{yi}^2) [1 - \cos^2(\theta_{Ti} - \theta_i) \sin^2 \varphi_i]} \\ \quad - 2T_{zi} \sqrt{T_{xi}^2 + T_{yi}^2} \cdot \cos \varphi_i \cdot \cos(\theta_{Ti} - \theta_i) \sin \varphi_i \end{cases} \quad (3)$$

式中:

T_{Ai}, T_{Bi} ——第 i ($i=1, 2, \dots, l$) 个基锚顶部轴向、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 ;

θ_i, φ_i ——球坐标系下第 i ($i=1, 2, \dots, l$) 个基锚的方位角、仰角 (示意见图 1), 也就是锚杆在水平面的投影与 x 向的夹角、锚杆与 z 向的夹角;

θ_{Ti} ——水平 x 向和 y 向作用力的合力与水平 x 向的夹角 (即: 基锚顶部作用力合力的方位角), $\theta_{Ti} = \arctan(T_{yi}/T_{xi})$;

其他参数意义同前。

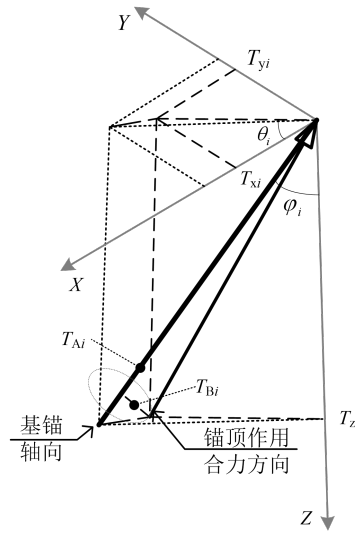


图 1 基锚作用效应空间计算示意

7.2 基锚轴向抗拔承载力验算

7.2.1 基锚轴向抗拔承载力应符合式 (4) 要求。

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

式中：

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

Q_{tu} ——基锚轴向抗拔极限承载力标准值, kN, 宜按试验结果取值, 当无试验值时可按式 (5) 计算得到;

K_t ——抗拔承载力安全系数, 按表 1 取值。

7.2.2 基锚抗拔极限承载力 Q_{tu} 可按下式计算。

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

式中：

n ——所计算基锚的锚盘数量;

Q_{tj} ——极限状态基锚自上而下第 j ($j=1、2、\dots、n$) 个锚盘所发挥的抗拔承载力, kN;

Q_{sh}^t ——极限状态基锚锚杆发挥的抗拔承载力, kN。

7.2.3 极限状态第 j 个锚盘所发挥的抗拔承载力 Q_{tj} 可按式 (6) 计算 (计算示意图见图 2)。

$$Q_{tj} = \pi B_j \left[\frac{B_j H_j \cos \phi_i}{4} \gamma_j' + \frac{\psi (H_j^2 - H_j^{t2})}{2} \gamma_j + (H_j - H_j^t) c_j \right] \quad (6)$$

式中：

B_j ——第 j 个锚盘直径, m;

H_j ——第 j 个锚盘埋深, m;

H_j^t ——第 j 个锚盘上部计算抗拔剪切体顶面埋深, m, 当 $H_1 \leq \lambda B_1$ 或 $(H_j - H_{j-1}) \leq \lambda B_j$ 时分别取 0 或 H_{j-1} , 当 $H_1 > \lambda B_1$ 或 $(H_j - H_{j-1}) > \lambda B_j$ 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 个锚盘上部土体平均有效重度, kN/m^3 , 其中地下水位部分土体采用浮重度;

γ_j ——第 j 个锚盘上部土体平均重度, kN/m^3 ;

ψ ——侧压影响系数, 可按附录 B.2 经验取值, 当计算锚盘与相邻基锚相近深度位置锚盘的水平中心距不大于 3 倍的较大锚盘直径时, 需考虑群锚效应, 计算该锚盘的抗拔承载力时的侧压系数取值进行 0.9 倍折减;

φ_i ——第 i 个基锚的倾角;

c_j ——第 j 个锚盘上部 λB_j 范围内土体黏聚力, kPa , 取不排水剪强度, 存在多个土层时可取锚盘上部 λB_j 范围内土体计算厚度的加权平均取值, 螺旋锚埋深范围内土层较均匀时, 各锚盘可取埋深范围内的黏聚力加权平均值。

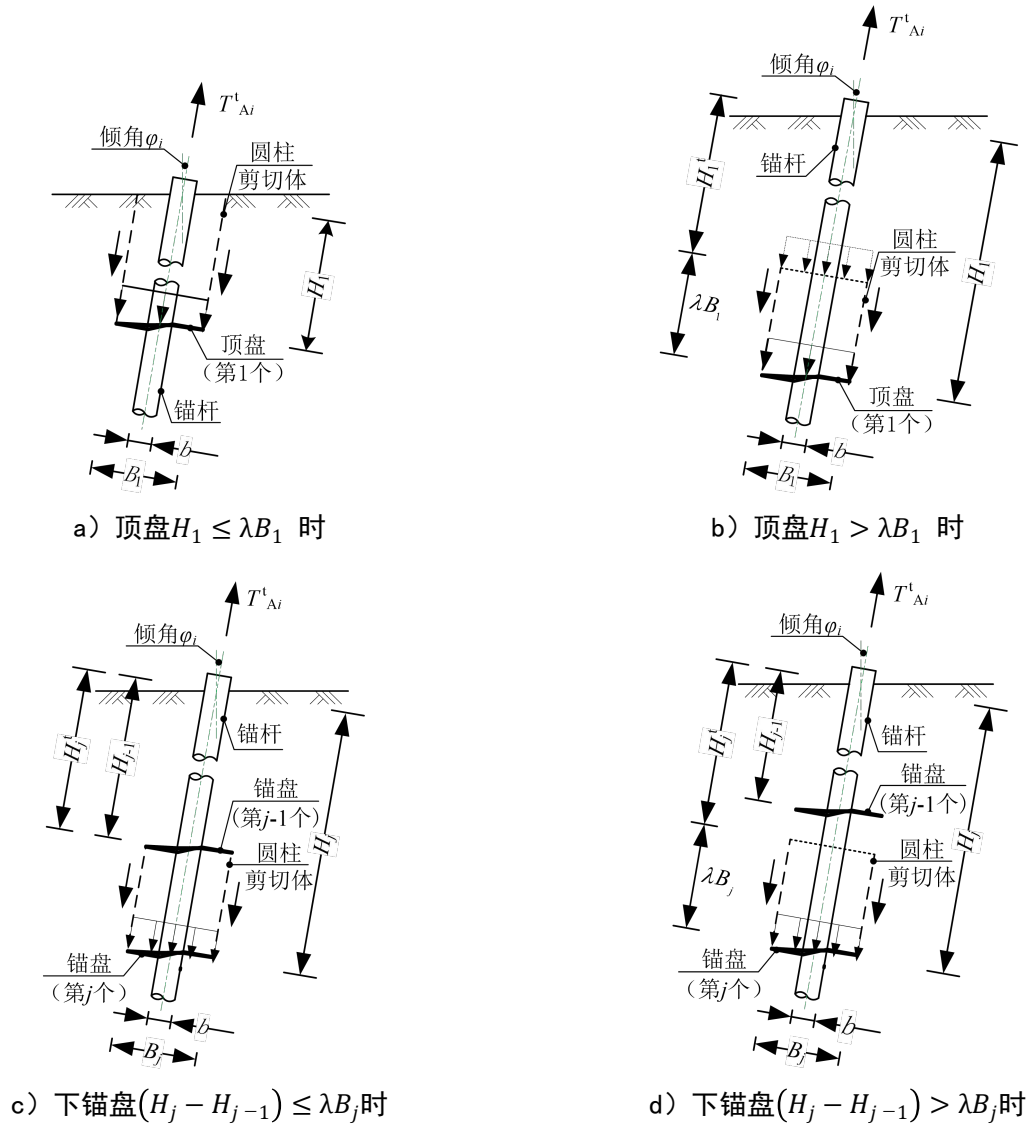


图2 锚盘上部土体抗拔阻力计算示意图

7.2.4 极限状态锚杆发挥的抗拔承载力 Q_{sh}^t 按式 (7) 计算。

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

式中:

b ——锚杆外径, m ;

L ——锚杆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 m ~ 2.0 m）和近锚盘附近随盘移动的土体厚度（可取 0.5 倍 $\sum \lambda B_j$ ）之和，m；

q_s^t ——锚杆抗拔时侧壁摩阻力，kPa，可取 JGJ 94 有关钢管桩侧摩阻力的 0.6 倍。

7.3 基锚轴向抗压承载力验算

7.3.1 基锚抗压承载力应符合式（8）要求。

$$T_{Ai}^c \leq \frac{Q_{cu}}{K_c} \quad (8)$$

式中：

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

Q_{cu} ——螺旋锚基础基锚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（9）~式（11）计算得到；

K_c ——抗压承载力安全系数，按表 1 取值。

7.3.2 基锚抗压极限承载力 Q_{cu} 可按式（9）计算。

$$Q_{cu} = \sum_{j=1}^{n-1} Q_{cj} + Q_{cn} + Q_{sh}^c \quad (9)$$

式中：

Q_{cj} ——极限状态基锚自上而下第 j （ $j=1、2、\dots、n$ ）个锚盘所发挥的下压承载力，kN；

Q_{sh}^c ——极限状态基锚锚杆发挥的下压承载力，kN；

其他参数意义同前。

7.3.3 极限状态第 j 个锚盘所发挥的下压承载力 Q_{cj} 可按式（10）计算，计算示意图 3。

$$\begin{cases} Q_{cj} = \pi B_j \left[\Psi \left(H_j^{c2} - H_j^2 \right) \gamma_j / 2 + \left(H_j^c - H_j \right) c_j \right] & \text{其中 } j = 1, 2, \dots, n-1 \\ Q_{cn} = \pi B_n^2 q_p / 4 \end{cases} \quad (10)$$

式中：

q_p ——锚盘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 个锚盘直径，m，其中 B_n 为第 n 个锚盘直径；

H_j ——第 j 个锚盘埋深，m；

H_j^c ——第 j 个锚盘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 个锚盘上部土体平均重度，kN/m³；

c_j ——第 j 个锚盘下部 λB_j 范围内土体黏聚力，kPa，取不排水剪强度，多个土层时可取计算范围内按厚度加权平均取值；

其他参数意义同前。

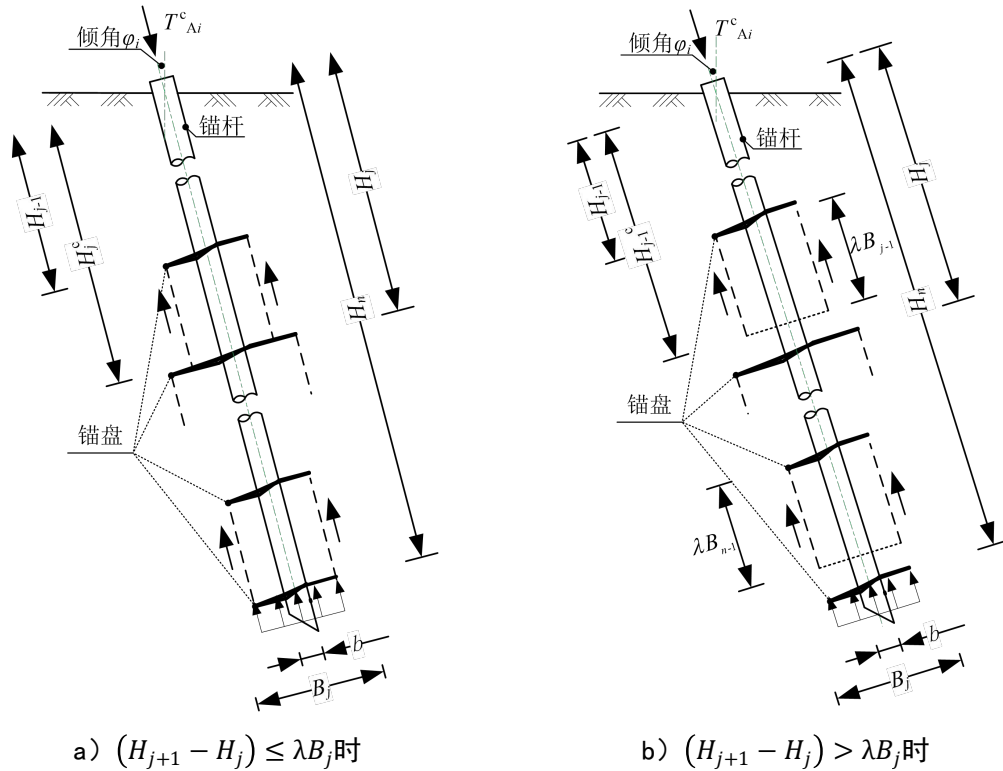


图3 锚盘下部土体抗压承载力计算示意图

7.3.4 锚杆发挥的抗压极限承载力 Q_{sh}^c 按式(11)计算。

$$Q_{sh}^c = \pi b(L - L_0)q_s^c \quad (11)$$

式中：

q_s^c ——锚杆抗压时侧壁摩阻力，kPa，可取 JGJ 94 有关钢管桩侧摩阻力的 0.6 倍。

其他参数按 7.2.4 条进行取值计算。

7.4 基锚横向承载力验算

7.4.1 基锚的横向承载力应符合式(12)要求。

$$H_k \leq R_{ha} \quad (12)$$

式中：

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

R_{ha} ——基锚横向承载力特征值，kN，按试验取值时取可取横向极限承载力的一半，无试验值时按第 7.4.2 条计算。

7.4.2 基锚横向承载力特征值可按式(13)计算。

$$R_{ha} = 0.75\alpha^3 EI \frac{\chi_{0a}}{v_h} \quad (13)$$

式中：

EI ——锚杆的抗弯刚度， $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ ；

α ——锚杆（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 ——锚杆的外径，m；

x_{0a} ——锚杆顶部允许横向位移，m；
 v_h ——锚杆顶部横向位移系数，可按表 2 取值，锚顶约束情况按基锚实际确定，一般可按固结取值。

表 2 锚杆顶部水平位移系数

锚顶约束情况	锚杆的换算埋深（ 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
固接	4.0	0.940
	3.5	0.970
	3.0	1.028
	2.8	1.055
	2.6	1.079
	2.4	1.095

注：当 $\alpha L > 4.0$ 时，按 $\alpha L = 4.0$ 取值。

7.4.3 基锚横向承载力特征值可按 p - y 曲线法进行计算，相关 p - y 曲线参数应根据载荷试验结果分析确定。

7.5 螺旋锚结构强度验算

7.5.1 基锚锚杆横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，基锚锚杆横截面承载力应满足式（14）要求。

$$T_{Ai}^{\max} \leq f \cdot A_g \tag{14}$$

式中：

T_{Ai}^{\max} ——基本组合荷载作用下基锚所承受的最大轴向作用力设计值，kN；
 A_g ——锚杆的截面面积， m^2 ，计算时锚杆管壁厚度不计防腐设计所采取的预留厚度量；
 f ——锚杆材料的抗拉、抗压强度设计值，kPa。

b) 基锚施工旋拧状态时，锚杆横截面所能承受的抗扭承载力的应满足式（15）要求。

$$T_q^m \leq f_{vk} \cdot W_p \tag{15}$$

式中：

T_q^m ——基锚旋拧作用的扭矩上限值， $kN \cdot m$ ；
 W_p ——锚杆抗扭截面模量， m^3 ，按下式计算： $W_p = 1.15\pi(b^4 - d^4)/(16b)$ ，其中 b 、 d 为圆形锚杆的外径与内径，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} ——锚杆材料的许用抗剪强度，kPa。

7.5.2 基锚锚盘强度验算按以下规定执行。

a) 基锚处于运行工作状态时，锚盘及锚盘与锚杆焊缝抗剪承载力均应满足式（16）要求。

$$\begin{cases} \text{单个锚盘时: } T_{Ai}^{\max} \leq \pi b t \cdot f_v \\ \text{多个锚盘时: } T_{Ai}^{\max} \leq n(\pi b t) \cdot f_v / 1.2 \end{cases} \quad (16)$$

式中:

t ——锚盘厚度, 或焊缝的有效高度, m, 其中, 锚盘厚度不计防腐设计所采取的预留厚度;

f_v ——锚盘材料或锚盘与锚杆间焊缝抗剪强度设计值, kPa;

其他参数意义同前。

b) 基锚施工旋拧状态时, 锚盘强度及锚盘与锚杆焊缝抗剪承载力均应满足式 (17) 要求。

$$\begin{cases} \text{单个锚盘时: } T_q^m \leq \pi b^2 t \cdot f_{vk} / 2 \\ \text{多个锚盘时: } T_q^m \leq n(\pi b^2 t) \cdot f_{vk} / 2.4 \end{cases} \quad (17)$$

式中:

t ——锚盘厚度, 或焊缝的有效高度, m; 其中, 锚盘厚度取考虑防腐设计所采取的预留厚度后的值;

f_{vk} ——锚盘材料或锚盘与锚杆间焊缝的许用抗剪强度, kPa;

其他参数意义同前。

8 承台及连接计算

8.1 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:

- 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。
- 钢制承台宜根据 GB 50017、GB 50661、GB 55006 进行构件结构承载力、焊缝强度验算并符合相应规定; 内力可采用有限元方法进行计算分析。

8.2 连接

8.2.1 上部杆塔结构与承台连接方式及要求如下:

- 对于钢制承台, 可采用焊接、螺栓连接方式, 并按 GB 50017 相关规定进行设计验算; 焊接时可采用与上部结构主材坡度、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。
- 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。

8.2.2 基锚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。

8.2.3 基锚段间接续可采用套接式、法兰式等连接方式 (见附录 A.4); 套接式应按 7.5 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锚杆间焊缝强度, 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; 作用与强度取值按 4.2.3 条要求执行。

9 构造要求

9.1 基锚

9.1.1 锚盘设置遵循以下要求：

- a) 锚盘直径不宜小于 200mm 且不宜大于 1200mm；宜取锚杆外径的 2~5 倍，且地基土侧压影响系数 ν 越大，锚盘直径与锚杆外径之比宜越小。
- b) 锚盘厚度不宜小于 5mm；同时考虑腐蚀影响，应合理预留腐蚀裕度。
- c) 单根螺旋锚锚盘数量不宜大于 5 片，直径的变化不宜超过 3 种。
- d) 锚盘螺距宜取锚盘直径的 $1/6 \sim 1/3$ ；同一基锚各锚盘螺距应相同。
- e) 底盘宜安装在与锚杆底端部竖直净距为 2~4 倍锚杆外径的位置；锚盘间距宜取锚盘螺距整数倍。

9.1.2 锚杆外形尺寸遵循以下规定：

- a) 锚杆外径不宜小于 60mm，壁厚不宜小于 5mm。
- b) 锚杆的最下端应有尖端，长度可取 50mm 至 200mm。
- c) 锚杆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锚杆强度。

9.1.3 基锚分段接续除满足连接承载力要求外，还遵循以下要求：

- 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；套接处接续钢管与锚杆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。

9.2 承台及连接

9.2.1 除了满足结构承载力及与上部杆塔和下部基锚的连接要求外，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；锚杆锚入承台深度不宜小于 3.5 倍锚杆外径，当采取有效锚固措施时锚入深度可适当减小；基锚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；预制承台与基锚采用焊接、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，与基锚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；承台与基锚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。

9.2.2 当在基础上部增设抵抗水平荷载作用的装置构件时，其埋置深度可取 1 至 2 倍的横截面直径或边长；采用预制构件（含混凝土预制和钢制）时其与地基及基锚间的缝隙宜注浆处理。

10 勘测与防腐蚀设计要求

10.1 勘测

10.1.1 拟采用螺旋锚基础的塔位宜采取“一基一勘，逐腿提资”的岩土工程勘察原则，并遵循以下要求，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土层碎石粒径分布情况；
- b) 宜采用静力触探法提出黏性土、粉土层桩侧摩阻力、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。

10.1.2 拟采用螺旋锚基础的塔位除一般勘测要求外，应重点查明的内容和评价分析的工作包括：

- a) 查明各塔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、砂土和碎石土密实状态、侧摩阻力等；查明地下水埋藏情况、地下水位及其变化幅度；查明场地土冻结深度。

- b) 分析提出各塔位螺旋锚基础适用性建议，提出锚盘持力层建议；对螺旋锚基础施工、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。

10.2 防腐蚀设计

10.2.1 螺旋锚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。

10.2.2 锚杆、锚盘均应采取预留腐蚀厚度的设计措施，锚杆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（18）计算。

$$\Delta\delta = V[(1-P_t)t_1 + (t-t_1)] \quad (18)$$

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。

10.2.3 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 1.0 m 范围内的锚杆外壁宜涂覆防腐蚀涂层，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。

10.2.4 在地下水环境对钢结构具有中、强腐蚀且锚盘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，并可参考 GB 21448 进行防腐蚀设计。

11 试验检测

11.1 一般规定

11.1.1 螺旋锚基础试验检测分为设计阶段的基本试验和施工阶段的工程检测。

11.1.2 施工过程中质量出现异常时，应采用载荷试验对工程基锚轴向抗拔承载力进行检测。

11.2 基本试验

11.2.1 基本试验项目宜包括施工工艺验证、载荷试验、基锚旋拧扭矩监测等，其中载荷试验过程中可采用应变法、测力法对锚杆轴力进行监测。

11.2.2 载荷试验应遵循附录 E.1 的规定，宜加载至地基基础破坏或最大加载方向位移宜超过 60 mm；应对初步设计方案的螺旋锚基础进行上拔与水平联合加载试验，宜对单根螺旋锚轴向上拔或水平向加载试验，可适当配置下压试验。

11.2.3 试验螺旋锚基础施工过程中，应遵循附录 E.2 的规定对基锚扭矩进行监测，宜每旋拧进尺 0.5 m 记录 1 次扭矩值；宜每进尺不大于 1.0 m 分别进行 1 次旋入深度、锚杆倾斜度的测试，倾角监测宜采用倾角仪；应对基锚、基础中心桩位偏差进行观测；可对现场焊缝质量进行无损检测。

11.3 工程检测

11.3.1 工程质量检测项目应包括基锚旋拧扭矩、锚杆旋入深度、倾斜角度监测以及基锚和基础中心桩位偏差的观测，可进行基锚轴向上拔载荷试验、焊缝探伤等检测。

11.3.2 载荷试验检测按附录 E.1 试验方法进行，最大加载量不应小于基本组合效应下基锚作用力设计值的 0.75 倍，最大加载时当荷载与位移关系曲线未出现附录 E.1.2 中第 a) 点所示的破坏特征且总位移量不大于 15~25mm（或设计要求）时可判定质量合格。

11.3.3 锚杆旋入深度、倾斜角度的监测按 11.2.3 条规定执行；在接近预定深度时的基锚扭矩监测结果不小于扭矩下限值或设计要求值时可判定基锚承载力满足设计要求。

11.3.4 焊缝探伤检测应按 GB/T 11345 相关要求执行。

11.3.5 进行基锚载荷试验检测时同一地质单元（相同地质条件下的所有塔位）检测数量不宜少于 3 根；同一塔位基锚扭矩监测不宜少于 3 根；异常情况出现频次较高时应适当增加检测量。

12 加工及施工技术要求

12.1 加工制作

12.1.1 螺旋锚构件加工制作遵循以下要求：

- a) 螺旋锚锚杆采用无缝钢管时，其规格、外观等应分别符合 GB/T 17395 的要求；锚杆矢高 $\leq 2\%$ 锚杆长度，外径允许偏差为钢管外径的 $\pm 1.0\%$ ；内外表面不应有裂缝、折叠、轧折、离层、发纹和结疤缺陷。
- b) 锚盘切割面不应有毛刺、锯齿等痕迹，切割的端面宜光滑；锚盘表面应平整，不应有明显的凹凸、沟痕、裂纹；锚盘螺距偏差不应大于 0.5 倍锚盘厚度，锚盘间距偏差不应大于 1 倍锚盘厚度。
- c) 锚盘与锚杆焊接时，锚盘面与锚杆中心线的交角误差不大于 1° ；应采用双面焊接，质量应符合 GB 50661 的要求；除外观检查外，可进行超声波探伤，并应符合 GB/T 11345 相关要求。
- c) 同一螺旋锚所有锚盘的中心应在同一轴线上，误差应在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，且各锚盘旋进过程中轨迹应一致。

12.1.2 螺旋锚锚盘加工工艺宜符合以下要求：

- a) 采用激光切割成形；当锚盘用钢板厚度大于 10 mm 时不宜采用冲压切割成形加工。
- b) 通过模具冷压方式大致成型。
- c) 通过模具热压方式消除应力并最终定型。

12.2 基础施工

12.2.1 基锚旋拧机械化施工机具可由提供旋拧扭矩的动力头和承载控制设备构成，宜采用挖掘机加装旋拧动力头的装备；选定施工装备及工艺后，应按第 8.2.3 条进行装备与基锚间连接的设计与加工。

12.2.2 基锚旋拧施工遵循以下要求：

- a) 旋拧速度不宜大于 10 转/min；
- b) 每转的平均螺旋锚下桩位移不宜小于螺距的 85%；
- c) 螺旋锚应单向拧进，避免反向旋拧；
- d) 应实时观察连接螺栓等状况。

12.2.3 基锚旋拧质量应符合以下要求：

- a) 基锚锚杆中心点的定位误差不大于 10mm；
- b) 扭矩值满足要求；
- c) 倾斜度偏差不大于 1° ；方位角偏差不大于 2° ；
- d) 基础中心水平偏差不大于 30mm；
- e) 基锚桩位水平偏差：钢筋混凝土现浇承台且基锚数大于 1 根时，群锚中各基锚桩位水平偏差不应大于 100mm；采用钢制承台或单锚型基础时，基锚桩位水平偏差不应大于 50mm。

12.2.4 钢筋混凝土承台施工应符合 GB 50204 要求，钢制承台符合 GB 50205 要求；现场焊缝质量应满足设计要求。

12.2.5 当螺旋锚锚杆端部封闭时，旋拧就位后锚杆中宜灌入水泥砂浆或其他灌浆材料。

12.2.6 当出现深部螺旋锚空转、多次正反旋拧等情形时，可采取外注浆等加固处理措施，并宜进行工程基锚承载力检测；当出现锚顶偏移超过要求时，宜采取纠偏处理措施。

13 环保与水土保持

13.1.1 螺旋锚基础设计应符合国家环境保护和水土保持的相关法律法规的要求。

13.1.2 螺旋锚基础宜结合基面实际地形采取截、排水和余土处理措施，以及自然地貌恢复方案。

13.1.3 螺旋锚基础应选用噪声小、粉尘少、对环境影响小的施工机具，当需要时，可采取降噪、防尘及除尘措施。

附录 A
(资料性)
螺旋锚基础分类图

A.1 螺旋锚常用外形

常用单根螺旋锚的布置见图 A.1。

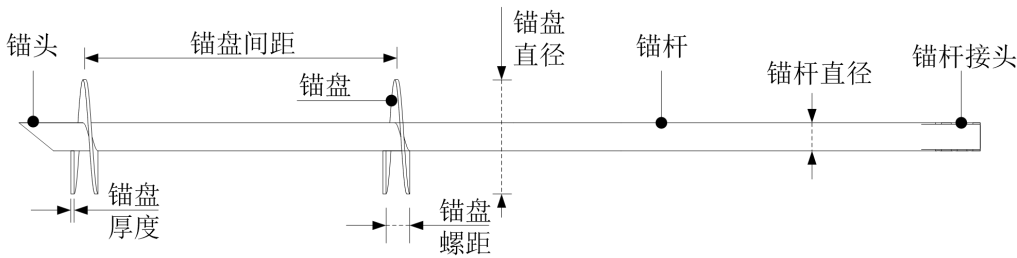


图 A.1 螺旋锚外形

A.2 锚盘主要外形

锚盘外形主要有圆形、螺旋渐进形、方形，具体见图 A.2。

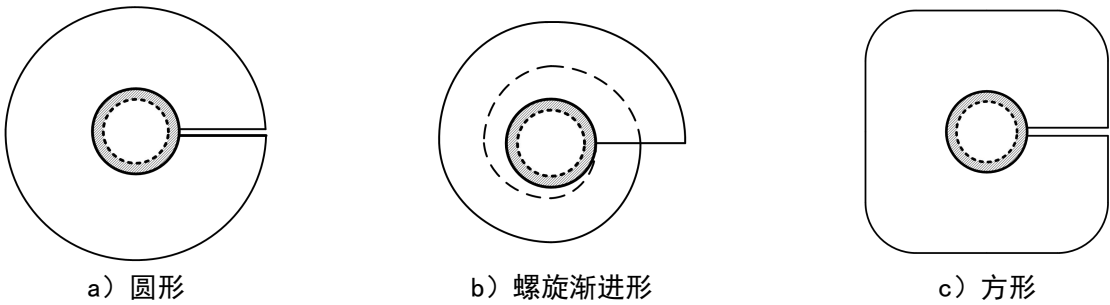


图 A.2 锚盘主要外形

A.3 锚头常用外形

常用锚头外形包括斜坡状、十字锥状、圆锥状，具体见图 A.3。

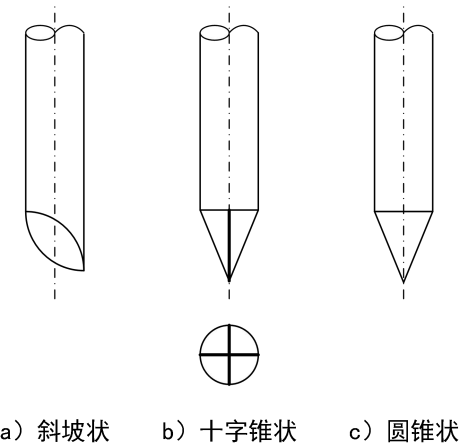


图 A.3 锚头常用外形

A.4 常用接续方式

螺旋锚分段接续主要有套接式、法兰对接式，具体见图 A.4。

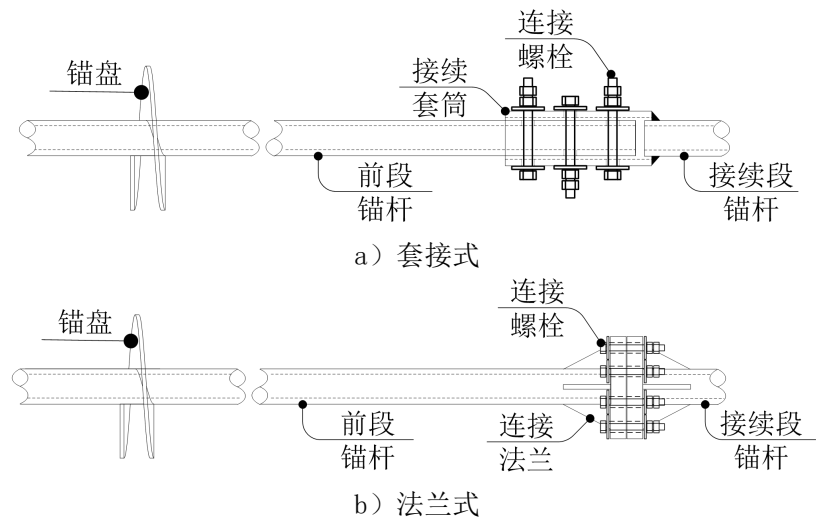
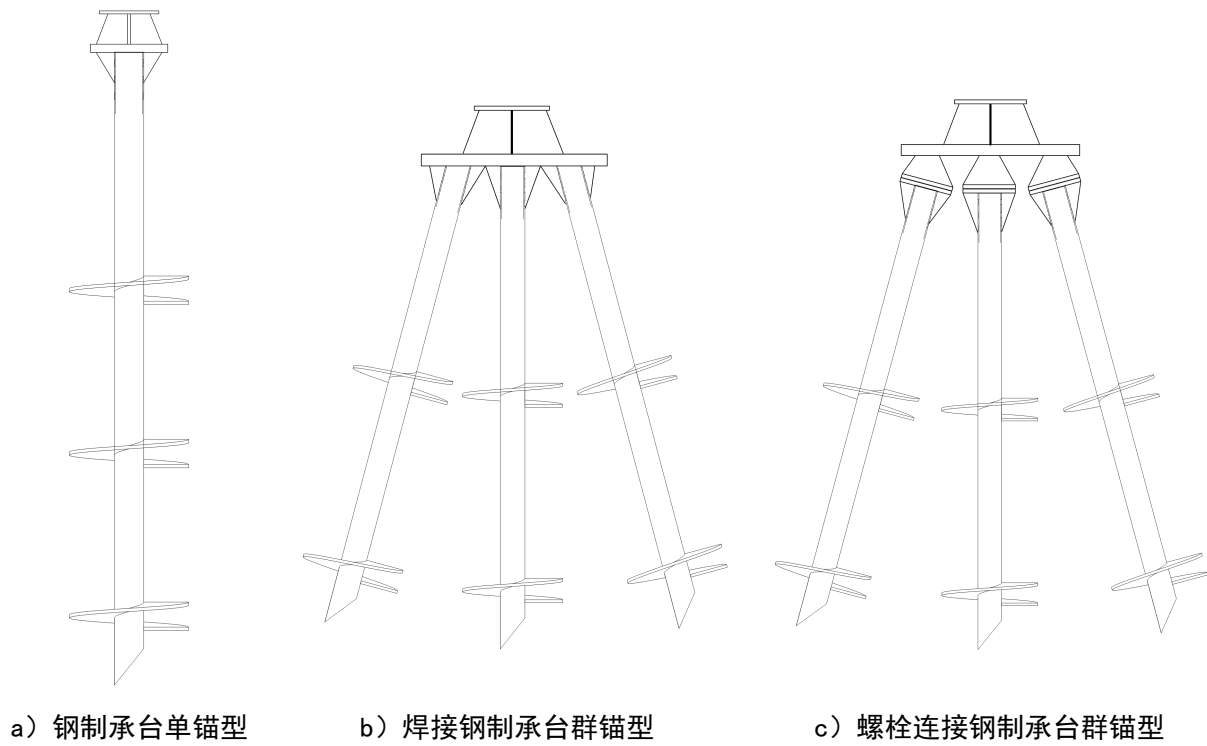
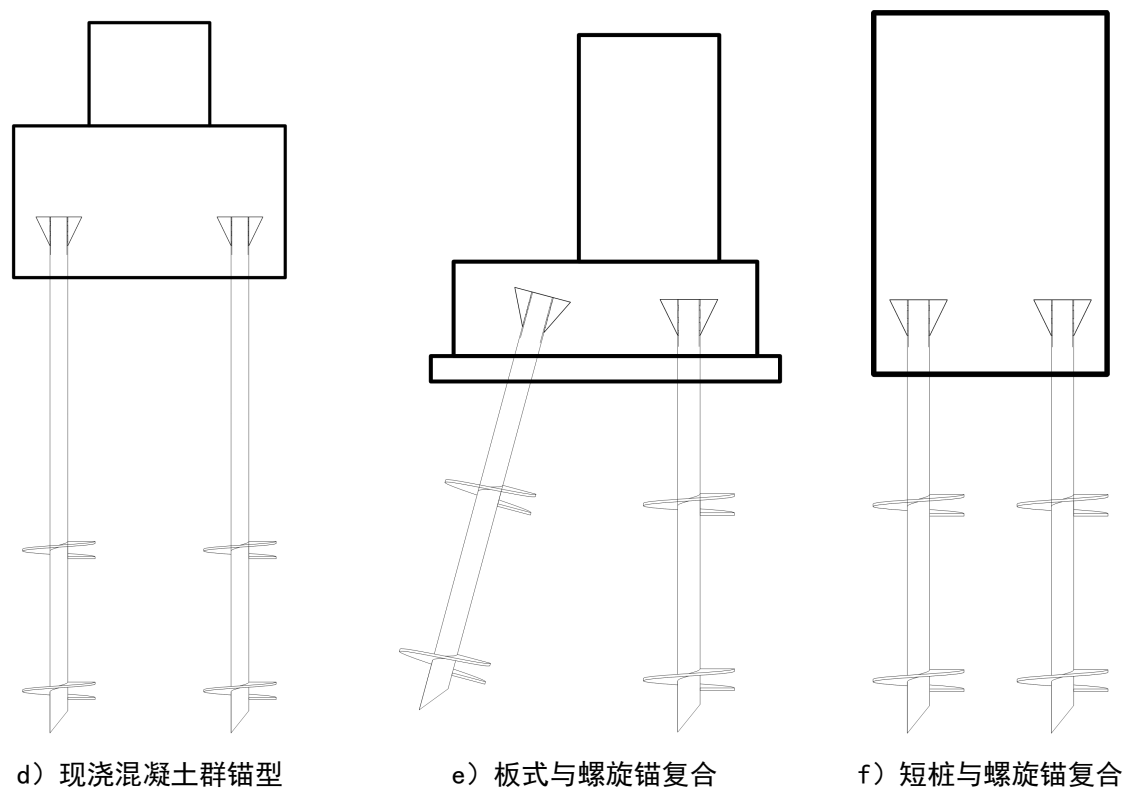


图 A.4 分段接续主要方式

A.5 螺旋锚基础主要结构型式

螺旋锚基础主要结构型式包括：基锚竖直或斜向布置的单锚型基础、基锚斜向布置的钢制承台群锚型基础（含基锚与承台螺栓连接或焊接）、基锚斜向或竖向布置的钢筋混凝土承台群锚型基础、板式基础或单桩与螺旋锚结合的复合型基础，具体见图 A.5。





注 1：a) 图中钢制承台单锚型螺旋锚基础中的基锚可采用斜向或竖向布置，同时在基锚上部可设置功能性承台（钢制或现浇钢筋混凝土或预制钢筋混凝土构件）以增加水平承载力面积，提高横向承载能力。

注 2：b)、c)、d) 图中高桩承台群锚型螺旋锚基础可不考虑承台的承载能力，可采取与上部结构连接的螺孔偏位、基锚差异化斜向布置等措施，以减少基锚横向作用力，提高基础抗水平承载能力。

注 3：e) 和 f) 图中螺旋锚复合基础承载力计算需考虑承台承载能力的发挥，同时可采取与上部结构连接的地脚螺栓偏位、基锚差异化斜向布置等措施，以优化基础承载性能。

图 A.5 螺旋锚基础常用形式

附 录 B
(规范性)
螺旋锚设计参数取值

B.1 锚盘剪切圆柱土体高度影响系数

当有载荷试验结果时，锚盘剪切圆柱土体高度影响系数 λ 宜按试验结果分析取值；当无试验结果时， λ 可按表 B.1 取值。

表 B.1 锚盘剪切圆柱土体高度影响系数

土的类型及状态		λ取值				
黏性土	状态	流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬
	取值	0.8~1.2	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0
粉土	状态	稍密	中密		密实	
	取值	1.0~2.0	2.0~3.0		2.5~3.5	
砂土	状态	松散	稍密	中密	密实	
	取值	1.5~2.5	2.5~3.5	3.0~4.0	3.5~4.5	
碎石土	状态	松散	稍密	中密	密实	
	取值	2.0~3.0	2.5~3.5	3.0~4.0	3.5~5.0	
注 1：淤泥、淤泥质土等软土可按流塑状态黏性土取值，黄土可按中密粉土取值；						
注 2：黏性土中粉质黏土可取相应区间中的偏小值，黏土可取偏大值；						
注 3：同一密实度的粉土、砂土、碎石土的湿度（稍湿、湿、很湿，共 3 种湿度描述）越大宜取范围内偏小值，反之宜取偏大值。						

B.2 侧压影响系数 ψ

当有静载荷试验结果时，侧压影响系数 ψ 宜按试验结果分析取值；当无试验结果时， ψ 可按表 B.2 取值。

表 B.2 侧压影响系数

土的类型和状态		ψ 取值建议								
黏性土	状态	淤泥、回填土等软土		流塑	软塑	可塑		硬塑	坚硬	
	取值	0.1~0.2		0.18-0.28	0.28-0.38	0.38-0.50		0.50-0.60	0.60-0.65	
粉土	状态	黄土		稍密		中密		密实		
	取值	0.30~0.50		0.20~0.40		0.35~0.50		0.50~0.70		
砂土	细类	粉细砂			中砂			粗砂、砾砂		
	状态	稍密	中密	密实	稍密	中密	密实	稍密	中密	密实
	取值	0.20~0.45	0.45~0.60	0.60~0.70	0.30~0.50	0.50~0.65	0.65~0.80	0.40~0.70	0.65~0.95	0.80~1.10
碎石土	细类	圆砾、角砾						碎石、卵石		
	状态	稍密		中密		密实		稍密	中密	密实
	取值	0.70~1.10		1.00-1.30		1.20-1.50		1.0~1.30	1.50-1.90	1.70-2.10
注 1：砂土、碎石土的密实度状态宜按原位试验结果 N63.5 及 N 进行判别，同一类型及密实度状态的土当 N63.5 及 N 值越大可在对应范围内取偏大值；										
注 2：同一类型及状态的黏性土当液性指数越小可在对应范围内取偏大值，同一类型及状态的粉土当含水量越小可在对应范围内取偏大值。										

附 录 C
(资料性)
部分材料性能指标

C.1 钢材

钢材物理性能指标、强度设计值按 GB 50017 的规定采用，常用钢材的设计指标可按表 C.1 取值。

表 C.1 钢材的设计用强度指标 (MPa)

钢材牌号		钢材厚度或直径 ($\times 10^{-3}$ m)	强度设计值			屈服强度 f_y	抗拉强度 f_u
			抗拉/抗压/抗弯 f	抗剪 f_v	孔壁承压* f_c^b		
碳素 结构钢	Q235	≤ 16	215	125	370	235	370
		$> 16, \leq 40$	205	120		225	
		$> 40, \leq 100$	200	115		215	
低合金 高强度 结构钢	Q355	≤ 16	305	175	510	355	470
		$> 16, \leq 40$	295	170		345	
		$> 40, \leq 63$	290	165		335	
		$> 63, \leq 80$	280	160		325	
		$> 80, \leq 100$	270	155		315	
	Q420	≤ 16	375	215	560	420	520
		$> 16, \leq 40$	355	205		410	
		$> 40, \leq 63$	320	185		390	
		$> 63, \leq 100$	305	175		370	
注：*适用于构件上螺栓端距不小于 1.5 倍螺栓直径的情况。							

普通钢筋和预应力钢筋的强度标准值和设计值、弹性模量按 GB 50010 的规定采用。地脚螺栓的强度设计值按 DL/T 5486 的规定采用，设计指标见表 C.2。

表 C.2 地脚螺栓的强度设计值 (MPa)

类 别	抗拉强度设计值 f_g
4.6 级	160
5.6 级	200
8.8 级	310

C.2 混凝土

混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度标准值和设计值、弹性模量按 GB 50010 的规定采用。常用混凝土的设计指标可按表 C.3 和表 C.4 取值。

表 C.3 混凝土强度标准值 (MPa)

强度种类	符号	混凝土强度等级						
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压	f_{ck}	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4
轴心抗拉	f_{tk}	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64

表 C.4 混凝土强度设计值 (MPa)

强度种类	符号	混凝土强度等级						
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压	f_c	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1
轴心抗拉	f_t	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89

C.3 焊缝

焊缝强度设计值应按 GB 50017 的规定采用，常用焊缝的设计指标可按表 C.5 取值。

表 C.5 焊缝的强度设计值 (MPa)

焊接方法和 焊条型号	构件钢材		对接焊缝				角焊缝
	牌号	厚度或直径 ($\times 10^{-3}$ m)	抗压 f_c^w	焊缝质量为下列 等级时，抗拉 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉、抗压和抗 剪 f_t^w
				一级、二级	三级		
自动焊、半自动 焊和 E43 型焊条 的手工焊	Q235	≤ 16	215	215	185	125	160
		$> 16, \leq 40$	205	205	175	120	
自动焊、半自动 焊和 E50 型焊条 的手工焊	Q355	≤ 16	305	305	260	175	200
		$> 16, \leq 40$	295	295	250	170	

附 录 D

(资料性)

旋拧扭矩计算

D.1 基本方法

基锚旋拧施工时锚顶作业扭矩 T_q 按公式 (D.1) 计算。

$$T_q = \frac{Q_{tu}}{k_T} \quad (D.1)$$

式中：

Q_{tu} ——基锚轴向抗拔极限承载力，kN；

k_T ——扭矩系数， m^{-1} ，由试验取值或可根据地基土体性质、基锚规格尺寸确定综合确定，一般取 $10 \sim 40 m^{-1}$ 。

D.2 扭矩下限值 T_q^n

D.2.1 基锚旋拧监测与承载力评价可采用扭矩下限值，该值可取为某种规格螺旋锚和特定场地条件下扭矩标准值。

D.2.2 当采用试验统计确定时可取扭矩概率分布的 0.5 分位值，即均值；无试验值时可按公式 (D.1) 计算，扭矩系数可按经验取值。

D.3 扭矩上限值 T_q^m

D.3.1 施工机械选配、旋拧状态螺旋锚构件强度验算可采用扭矩上限值。

D.3.2 当无原位旋拧扭矩测试值时可按公式 (D.2) 计算上限值：

$$T_q^m = (1 + \beta C_V) T_q^n \quad (D.2)$$

式中：

C_V ——扭矩统计变异系数，可取为 0.06；

β ——标准正态分布一定置信水平的单侧区间上限，无试验值时可按 99% 的置信水平取 2.326。

D.3.3 当采用原位测试值统计确定时也可按公式 (D.3) 确定：

$$T_q^m = \left[1 + \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) C_V \right] T_q^n \quad (D.3)$$

式中：

C_V ——特定场地扭矩统计变异系数，可参考 GB 50021 有关岩土参数统计要求由测试值计算得到；

n ——试验测试扭矩的样本数，宜取场地内有效的扭矩监测样本量。

附 录 E
(规范性)
主要试验测试方法

E.1 静载荷试验

E.1.1 加载方法

试验加载按下列要求执行：

- a) 采用分级维持荷载加载方式，每级加载量不宜大于预估极限荷载的 1/8，每级荷载维持时间不少于 5 min；宜在每级加载维持的第 2 min、5 min、10 min 及其后每隔 5 min、施加下一级荷载前分别记录一次基顶荷载与位移值。
- b) 螺旋锚基础荷载试验时可采用单向（含横向或水平向、竖向向下压、竖向上拔）或竖向与水平向联合加载工况；单个基锚试验宜采用单向加载工况。

E.1.2 载力取值

E.1.2.1 基础轴向极限承载力按以下要求取值：

- a) 当轴向荷载与位移关系曲线呈陡降特征时，应取其明显发生陡降的起始点对应的荷载；当后一级加载段斜率超过本级加载段的 5 倍，且基顶轴向累计位移量超过 40 mm 时可认为此级荷载为陡降的起始点。
- b) 当轴向荷载与位移关系曲线呈现缓变特征时，宜取轴向位移为 50 mm 所对应的荷载值；可取锚盘直径的 10%并考虑锚杆弹性变形量的位移量所对应的荷载值；可取设计要求的最大轴向位移控制值对应的荷载值。
- c) 不满足本条第 a)~b)项情况时，可取最大加载量。

E.1.2.2 基础横向（含水平）极限承载力按以下要求取值：

- a) 当横向（水平）荷载与位移关系曲线较平滑时，宜取横向位移为 40mm 所对应的荷载值。
- b) 当横向（水平）荷载与位移关系曲线在加载初期存在突变点时，宜取相对该突变点的净位移为 30mm 所对应的荷载值。
- c) 可取设计要求的最大横向（水平）位移控制值对应的荷载值。
- d) 不满足本条第 a)~c)项情况时，可取最大加载量。

E.2 扭矩监测

扭矩监测按以下要求执行：

- a) 扭矩监测宜采用在旋拧动力头与螺旋锚之间布置扭矩监测仪的方式，测试螺旋锚旋拧过程中施工扭矩。
- b) 可采用油压式传感器监测扭矩，此时应对旋拧设备（含旋拧动力头及其配套的机械）的测试值进行校准。
- c) 应在旋拧速度低且均匀时记录扭矩值。

架空输电线路螺旋锚基础设计规范

编 制 说 明

目 次

1 编制背景. 27

2 编制主要原则. 27

3 与其他标准文件的关系. 27

4 主要工作过程. 27

5 结构和内容. 28

6 条文说明. 28

1 编制背景

本文件依据《国家电网有限公司关于下达 2021 年第一批技术标准制修订计划的通知》（国家电网科〔2021〕92 号文）的要求编写。

螺旋锚基础作为一种环保型基础型式，具有本体材料消耗少、施工速度快，以及机械化施工程度高、安全风险小等优点。2018 年以来，国网公司大力推行螺旋锚等环保型基础应用，并组织开展了不同土质、电压等级、结构形式的螺旋锚基础试验研究工作，相关工程技术的快速创新发展，基础适用范围进一步扩大，设计方法、参数取值等方面形成了丰富的成果。虽然有关架空输电线路螺旋锚基础设计的国家电网公司企业标准先后正式发布实施了 Q/GDW 584—2011、Q/GDW 584—2018，共 2 个版本，由于近几年技术的快速发展且应用需求巨大，为进一步发挥本标准的支撑作用及成效，经专家组讨论及意见征集，于 2021 年再次提出了修订计划。

为规范架空输电线路螺旋锚基础设计，充分吸收最新工程实践及研究成果，指导工程实施，推广应用螺旋锚基础，特制定本文件。

2 编制主要原则

本文件主要根据以下原则编制：

- a) 修订坚持安全可靠、经济合理、技术先进的方针；
- b) 修订过程中开展了专题研究，进行了广泛的调查分析，充分借鉴了国外应用经验，总结了近几年来我国螺旋锚基础设计、加工与施工经验，吸纳了该领域新的科研成果，以多种方式广泛征求了有关单位及专家的意见，并进行了试设计，对主要问题进行了反复修改，最后经审查定稿。

本文件项目计划名称为“架空输电线路螺旋锚基础设计技术规范”，按照 GB/T 20001.5—2017《标准编写规则 第五部分：规范标准》有关标准名称的要求，在编制大纲审定时经编写组与专家商定，更名为“架空输电线路螺旋锚基础设计规范”。

3 与其他标准文件的关系

本文件与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致。

本文件在设计基本原则等方面与同类行业标准 DL 5219—2014《架空输电线路基础设计技术规程》一致，在抗拔承载力安全系数、设计内容要求等方面严于行标，并在基础适用范围、结构形式多样性、承载力计算方法、勘测特殊要求、加工与施工技术要求、防腐蚀设计、试验检测与质量验收等方面进行补充与细化。

本文件不涉及专利、软件著作权等知识产权使用问题。

本文件主要参考文件：

GB 50068—2018 建筑结构可靠性设计统一标准

IEC 61773—1996 Overhead Lines: Testing of Foundations for Structure

CHANCE/IATALS Technical Design Manual: Edition 4

Donald J. and Clayton PE Utility Industry Anchor Design and Maintenance Manual

4 主要工作过程

2021 年 2 月，按照公司制修订计划，编制了本标准修订工作方案，项目启动。

2021 年 3 月，成立编写组。

2021 年 4 月，完成了标准大纲编写，组织召开大纲研讨会，审定标准编制大纲。

2021 年 7 月，完成了标准征求意见稿编写，采用邮件、会议、指定人员等方式广泛、多次在电力

行业范围内征求意见。

2021年9月，修改形成了标准送审稿。

2021年9月，公司TC02标准专业工作组组织召开了标准审查会，专家组审查结论为：同意修改后报批。

2021年10月，修改形成了标准报批稿。

5 结构和内容

本文件代替 Q/GDW 10584—2018，与 Q/GDW 10584—2018 相比，本次修订做了如下重大调整：

——充分总结近年来国内外螺旋锚基础工程应用经验及试验研究成果，本标准全面修改了本文件内容框架，修改了基锚竖向和水平向承载力、结构强度设计计算，以及加工与施工技术要求等内容。

——本标准增加了适用范围、计算校核原则等总体要求，预制承台及斜向基锚布置结构与连接形式以及水平承载力计算方法、勘测要求、防腐蚀设计、质量检测与验收、环保与水保等内容；补充并细化了基锚、基础构造等要求，增加了承载力计算等关键设计指标取值建议。

——本标准删除了有关土壤的内摩擦角和凝聚力设计值等规范性附录内容。

本文件的主要结构和内容如下：

本文件的主题章分为 10 章，由螺旋锚基础设计基本规定、结构布置、材料、螺旋锚计算、承台及连接计算、构造要求、勘测与防腐蚀设计要求、试验检测、加工及施工技术要求、环保与水保要求等组成。

本文件在充分总结了国内外工程实践经验及试验研究成果，给出了螺旋锚基础适用范围，基锚上拔、下压、横向等承载力计算基本原则；设计计算与验算校核内容、作用效应组合与相应的抗力要求、设计参数确定原则、基锚布置形式及结构分类等要求；螺旋锚布置方式（包括竖直、斜向）、承台结构形式（包括钢筋混凝土预制、钢制、现浇钢筋混凝土），螺旋锚锚盘等设置要求，以及结构布置方式选用原则；螺旋锚、承台、连接等材料类型、性能指标，以及设计采用的原则；基础上拔与水平荷载工况下基锚顶部作用效应计算，各基锚抗拔承载力计算与上拔稳定性要求、下压承载力计算与下压稳定性要求，横向承载力计算与水平稳定性要求；关键设计参数取值；锚杆分段连接方式及其强度计算与要求；螺旋锚结构强度、锚杆承台结构及连接强度、钢筋混凝土承台截面承载力计算及其要求；锚杆与锚盘尺寸、螺旋锚倾斜角度限值等基本要求，钢筋混凝土承台、钢制承台、预制钢筋混凝土承台等构造要求；勘测及环境腐蚀等级评价等要求，基锚和承台防腐设计计算方法、防腐措施等要求，各防腐措施适用的原则；螺旋锚工厂化加工、基础现场机械化施工、承台现场装配与施工、承台与螺旋锚间连接施工等要求；螺旋锚加工、旋拧施工，以及基础焊接等质量验收检查要求；螺旋锚基础设计环保与水保要求。

本文件代替 Q/GDW 10584—2018，原文件起草单位包括国网辽宁省电力有限公司、中国能源建设集团辽宁电力勘测设计院有限公司、国网辽宁省电力有限公司营口供电公司、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司、华北电力大学；原文件主要起草人包括：黄连壮、殷鹏、丛培元、刘利民、鲁先龙、刘学军、张映晖、王璋奇、张建志、黄晓祚、王丹、郑薇、王永红、王建东、张振宇、张新春、刘瑞、王增华、叶永明、李学琦、王鹏举、史哲、庾思黎、王东星、于性波、黄浩、马强、杜欣然、黄拥杰、刘晓龙、王仲攀、张云旭、林胜辉、李强、吴铎、陈伟、靳振宇、赵勇、金丽勇、张鸥、徐强胜。

6 条文说明

本文件第 4.1 条中，适用范围是在充分总结国内外螺旋锚基础应用水文地质条件后给出，其中当土体碎石块尺寸较大时可导致螺旋锚无法旋进，且极易损坏螺旋锚，在这类场地不宜采用；当土体坚

硬或密实时可导致螺旋锚旋拧施工困难、扭矩较大，增加工程实施不确定性，需谨慎采用；当地下环境对钢结构具有强腐蚀性且相关工程应用经验积累不足、腐蚀特性尚不明确时，需谨慎采用。然而，对强腐蚀环境中已服役期超 15 年的输电线路工程螺旋锚基础进行原位开挖观测与试验，未见明显腐蚀痕迹，同时海港等工程相关技术标准未从地下环境腐蚀等级的角度对钢管桩的适用性进行规定，经综合考虑，第 4.1.2 条规定了强腐蚀环境经论证后螺旋锚基础可采用的要求；实际工程中通过工艺创新，也已在坚硬或密实的土层实现了应用，因此第 4.1.3 条对于坚硬或密实的土层明确了进行工艺验证后可以采用的规定。

另外，本节有关地基土的分类、性质等需按国家标准 GB 50021《岩土工程勘察规范》的要求进行分类与鉴定；优先选取当地服役或退役线路地下钢制构件（含钢制螺旋锚、拉线棒等，不含钢绞线）或类似场地钢管桩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依据；无可参照的测试结果或经验时可依据国家标准 GB 50021《岩土工程勘察规范》进行评价。

本文件第 4.2 条中，明确了螺旋锚基础设计计算基本原则。国外均视螺旋锚基础为一种桩基础，国内大量的试验研究也表明其承载特性与桩基类似，并结合架空输电线路螺旋锚基础的工程特点，规定了基本设计方法、主要设计计算项目、作用效应与抗力采用值以及承载力安全系数值（极限值与特征值的比值）等内容。

其中，表 1 中承载力安全系数的取值是基于螺旋锚基础大量试验数据的统计分析，并保持现有设计安全可靠水平（参照电力行业标准 DL/T 5219《架空输电线路基础设计技术规程》），结合输电线路基础工程特点来综合确定。通过螺旋锚基础试验结果统计分析变异系数如下：

- a) 单个螺旋锚抗拔承载力受地层、施工等不确定性的影响，其变异系数为 0.20；
- b) 群锚型螺旋锚基础的抗拔与抗压承载力的变异系数均为 0.14；
- c) 单个螺旋锚的抗压承载力的变异系数为 0.11。

基于以上统计结果，单锚型螺旋锚基础抗拔承载力计算的安全系数取 2.5 与群锚型安全系数取 2.0 时基础的可靠度水平相当；同时国外相关规范及工程手册建议安全系数 K 值一般取 2.0，特殊情况取 3.0；此外，为保持架空输电线路基础设计标准体系的一致性，取消附加分项系数；综合规定：单锚型螺旋锚基础抗拔承载力安全系数取 2.0 至 3.0，群锚型取 1.6 至 2.5，抗压和横向承载力取 2.0。

本文件 5.1 条中，全面总结了目前已使用的螺旋锚基础结构类型和布置方式，给出了单锚型和群锚型，现浇和预制钢筋混凝土或钢制承台，复合和普通基础，基锚竖直和斜向形式等分类，进一步提高了螺旋锚基础的适用性。

本文件第 5.2 条中，当斜锚布置角度较大时，不仅施工精度难保证、易偏位，而且试验结果显示大于该角度轴向与横向承载力明显削弱，承载力机制更复杂，结合应用经验规定了不低于 25° 的要求，另外国内外工程应用中基锚倾斜角度一般不超过 20° ；群锚中基锚平面布置应该尽可能使其承受的水平合力和力矩较大方向有较高的抗弯截面模量，地表位置的各基锚锚杆顶部的形心可按正多边形布置，不同数量基锚布置及其基础放置方位可参考下图 1，注意图中 3 根锚的群锚型基础地表处的基锚形心分布不一定呈等边三角形，但一般是等腰三角形。

另外，规定了基锚布置间距还应该考虑施工的便捷性，主要从基锚旋拧时是否碰撞、最小间距要求等角度来合理确定基锚顶间距。给出了埋深不大于 30 倍锚盘直径的要求，主要考虑埋深过大会造成扭矩无法有效传递至下部锚盘、深层锚盘易偏位等；给出了首盘的埋置深度不宜小于 5 倍盘径的要求，因为国外工程应用一般要求锚盘处于深埋状态，而大量研究认为浅埋和深埋之间的分界线是锚盘直径的 3 倍至 8 倍，有部分标准及经验提出锚盘埋置深度不小于 7 倍锚盘直径，然而这些要求主要针对较小锚盘直径，而国网公司近几年工程使用的锚盘直径较大（一般不小于 0.4m，最大接近 1.0m），从较大盘径的螺旋锚载荷试验结果分析看 5 倍桩径以上即可视为深埋锚形式，因此本文件提出首盘埋深要求。

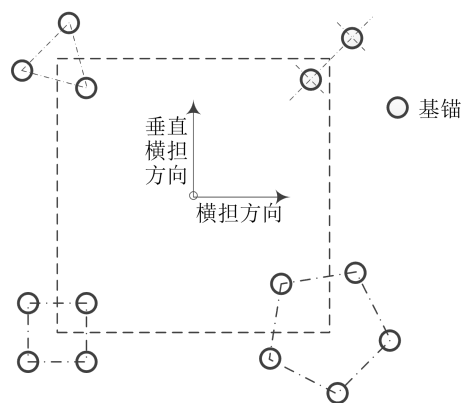


图1 群锚型基础中基锚布置示意

本文件第 6 章中，给出了基础钢材、混凝土、连接件等材料的要求。第 6.1 节规定了螺旋锚及承台所用钢材在低温条件下的质量要求，其中螺旋锚主要埋设于地下，我国范围内地下环境温度较高，未见低于零下 40 摄氏度，而东北部等地区气温存在这种环境条件，因此对承台做出了低于零下 40 摄氏度时采用 C 级钢、40mm 以上厚钢板 D 级钢的质量要求；其他行业工程钢管桩为避免电偶腐蚀而要求同一基础中基桩采用相同钢种，输电铁塔螺旋锚基础往往由铁塔、承台等联通各基锚，因此要求同一塔位基锚采用相同钢种。

本文件第 7 章中，通过深入总结室内模型及现场原型试验研究及理论分析成果，给出了基锚竖向、横向承载力及锚杆横截面等承载力计算方法及参数取值建议，并以本章所提出的方法与参数取值进行了试算，同时对比了计算与试验结果。

本文件第 7.1.1 条中，要求当基锚承受横向力较小时可按给定公式计算承台下部基锚顶部的作用力，一般情况下基锚横向承载力较小，可按第 7 章公式（1）和公式（2）计算；当基锚承受的水平力较大等特殊情况下或有要求时需要考虑承台、基锚等协调作用来计算基锚顶部作用力。

本文件第 7.2 条中，以近些年公司系统所开展的原位抗拔载荷试验为例，利用第 7.2 节所提供抗拔承载力试验计算方法及参数取值，进行承载力计算值与试验值对比，对比情况见下图 2，可以看出一致性比较好，两者平均偏差-4.8%（负号表示试验值大于计算值），82%的计算与试验结果的偏差在 $\pm 20\%$ 以内。

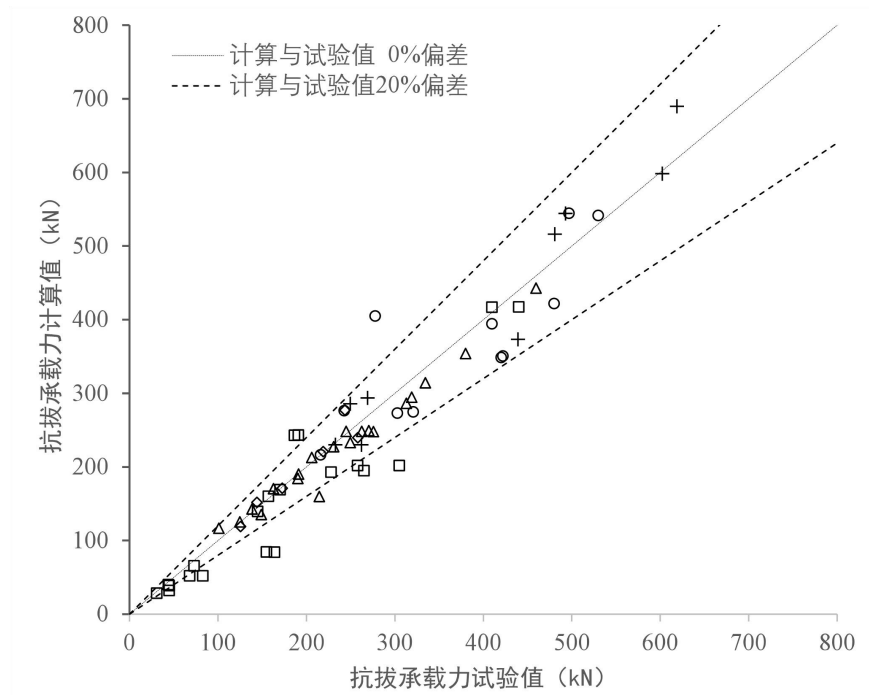


图2 螺旋锚承载力计算值与试验值对比

本文件第 7.2.3 条中，规定了当相邻螺旋锚的相近深度位置的锚盘中心水平距离小于 3 倍锚盘直径 B_f 时该锚盘计算的侧压系数取值进行 0.9 倍折减，这主要是考虑了当基锚距离较近时群锚效应对抗拔承载力的不利影响，理论上主要对抗剪土体摩阻力的影响，因此计算对该部分承载力进行折减。

本文件第 7.2.4 条中，规定了计算锚杆的抗拔承载力时对有效计算长度及侧摩阻力进行折减，一方面因基锚旋拧施工精度的影响，在浅部不可避免存在一定范围（据试验测量一般达到 1.0m 至 2.0m）的锚杆与地基脱开，锚盘上部土体因压缩变形部分深度范围内土体与锚杆的相对位移较小而影响摩阻力发挥，另一方面不断旋拧锚杆与土接触面处于强烈扰动与重塑的状态。

本文件第 7.3.3 条中，计算底盘发挥的承载力时采用锚盘边缘投影所围成的圆面积，并非采用实际的锚盘投影的环面积，主要考虑锚杆横截面外圆面积相对锚盘面积较小，即使锚杆端部开口时基底土体扩散作用及土塞效应将使得其对锚端承载力的削弱作用有限，计算时可忽略。

本文件第 7.4 条中，参照桩基采用技术比较成熟的 m 法计算基锚横向承载力。一方面螺旋锚基础按较小横向位移状态进行设计选型，另一方面通过水平载荷试验结果统计，与基本组合效应下作用力相当的基锚承载状态时位移均值 22.1mm，与标准组合下作用力相当时位移均值 16.3mm，且这两种状态的标准差相当，同时由于螺旋锚旋拧时因施工精度影响，基锚与地基土存在缝隙，该缝隙一般处于 10~20mm，这也是两种状态标准差相当的主要原因，另外扣除该缝隙对水平位移的影响， m 法计算状态下地基与基锚间相互作用所导致的位移约 10mm，与有关规范中桩基水平承载力计算条件相符，因此基锚横向承载力采用 m 法是合理的。

本文件第 7.4.2 条中，计算时 m 参考 JGJ 94 进行取值，锚杆顶部允许横向位移建议取 15mm。第 7.4.3 条中，由于 p - y 曲线法计算较复杂，当利用试验结果分析得到桩侧土抗力与桩身挠度关系时计算水平承载力较准确，但无试验支撑时因经验积累不足计算结果准确性一般。所以本条款提出可采用 p - y 曲线法计算基锚横向承载力，但曲线参数应根据载荷试验结果分析确定。

本文件第 7.5 条中，螺旋锚施工旋拧状态验算强度时施工扭矩采用上限值，该值应选扭矩一定范围内的较大值，该状态属于短暂设计状况，验算时基锚材料抗剪强度采用许用值 f_{vk} ，按照相关文献及材料力学相关理论，该值可取屈服强度 f_y 的 $1/\sqrt{3}$ 倍。第 7.5.2 条中，锚盘抗弯强度一般情况下无需验

算，必要时可借助有限元法进行分析，锚盘上或下表面按均布压力条件进行模拟计算；基锚设计时通过采取限制锚盘尺寸等一系列构造措施，可确保常规条件下锚盘的抗弯承载力满足功能需要。

本文件第 8 章中，给出了承台结构及连接计算要求。第 8.1 节中钢制承台内力可采用有限元方法进行计算校核，一方面钢结构进行有限元分析方法进行内力与变形计算较准确，另一方面现有分析工具软件较大也较普及，具备进行计算校核的条件。第 8.2.3 条中基锚续接当采用套接式时套接管及其与锚杆间焊缝的强度验算按 7.5 节进行，采用法兰式参考钢结构进行设计，其中旋拧施工状态扭矩作用及强度参照 7.5 节进行取值。

本文件第 9 章中，给出了构造要求，对国内外实践经验的充分总结后提出。

本文件第 10 章中，针对螺旋锚基础工程应用给出了勘测要求及专门的防腐蚀设计要求。第 10.1.1 条中，针对碎石土层粒径勘测容易出现失误的问题，提出了采用钻探与坑探、地质调查相结合的方法；为提高螺旋锚基础设计参数取值采用的精确性，在总结工程实践经验的基础上，提出了针对性的原位勘探方法；特高压等重大工程适宜采用“逐腿钻探”的勘察原则。第 10.1.2 条中，在工程可行性研究阶段，根据输电线路电气及结构专业对线路路径的初步选定，在满足螺旋锚基础适用的地形地貌及其施工机械进出场等条件的路径段，提出是否适用螺旋锚基础的建议，以免工程中出现较大的变更修改。

本文件第 10.2.2 条中，明确了预留厚度计算方法，并给出了单面腐蚀速率可取 0.02-0.03mm/a 的建议。综合国内钢管桩防腐蚀设计要求、日本与美国长期有关钢管桩腐蚀监测以及国网公司于 2018 年组织的地下钢件腐蚀情况的测试研究结果，提出了该建议值；对于涂覆防腐层，一般在旋拧下锚过程中下部锚杆防腐层磨损较严重，因此涂层保护防腐措施的使用年限可以取为 0；对于设计使用年限，首先不低于杆塔设计使用年限，当现有标准未明确时其值 750kV 及以下电压等级暂取 50 年、特高压暂取 100 年，或取其他特殊要求的使用年限；对于腐蚀速率，其他行业工程钢管桩及国外螺旋锚防腐蚀设计中一般不考虑腐蚀等级的影响，在目前螺旋锚防腐蚀经验不足时腐蚀速率可在 0.02-0.03mm/a 的取值范围内，按微腐蚀取较低值、弱腐蚀与中腐蚀环境取中值、强腐蚀取高值的原则来确定，或根据相似环境实测腐蚀速率取值。

本文件第 11 章中，给出了螺旋锚基础试验及质量检测的要求。按照国际标准 IEC 61773—1996 要求基础质量检测加载量取设计荷载的 60%至 75%，第 11.3.2 条中提出最大加载量不小于基本组合效应下基锚作用力设计值的 0.75 倍，为了确保质量可靠提出了检测合格的标准是基锚未破坏同时位移不大于某一限值，该限值经过对大量的试验结果的统计分析后给出，这样基本保证极限状态时既满足承载力要求又满足了正常使用的变形要求。其中最大加载量相当于标准组合下基础作用力，通过对 87 个轴向抗拔载荷试验样本的统计分析，得到承载力处于特征值水平时相应位移均值 15.35mm、变异系数 0.37），且超过 20mm 的占比低于 20%，超过 25mm 的占比低于 97.5%，另外螺旋锚轴向位移受连接缝隙（一般 5mm 左右）的影响，引起变异系数较大，综合其抗拔承载特性、试验方法等影响，可以采用 20mm 作为承载力是否合格的判定要求之一。

本文件第 11.3.5 条中，工程螺旋锚基础有关承载性能的常规检测项目应该是扭矩监测，建议每一塔位抽检不少于 3 个基锚（同一塔位基础少于 3 个基锚时全部检测）；当出现深部空转、反向旋拧、扭矩值无法满足要求等异常情况时，需进行基锚轴向抗拔载荷试验检测，数量满足同一地质单元（相同地质条件下的所有塔位，可以不是同一塔位）检测数量不少于 3 根。

本文件第 12 章中，主要从设计的角度明确了螺旋锚构件加工及基础施工的技术要求。对于钢筋混凝土预制件及钢制承台的加工要求分别按钢筋混凝土及钢结构加工制作标准执行。

本文件第 12.1.1 条中，矢高的测量方法参照钢管桩的质量评价参数。第 12.1.2 条中，明确了螺旋锚锚盘加工工艺要求，主要考虑螺旋锚在工厂加工时锚盘较容易出现因工艺不当导致的质量问题，如锚盘上下开口边缘线不平行等，在本条专门对锚盘加工制作工艺进行了推荐。第 12.2.5 条中，其他灌浆材料包括细石混凝土等。

本文件第 13 章中，给出了环保与水保专项要求。

本文件附录 A 中，锚盘外形、锚头、基础结构形式等供设计参考。

本文件附录 B 中，设计参数是基于第 7 章设计方法，通过试验对比并经统计分析得到。另外锚盘剪切圆柱土体高度和侧压影响系数主要是按基顶位移 50mm 左右时推算得到，当极限位移要求变化时该设计参数需适当调整。

本文件附录 C 中，给出了螺旋锚基础主要材料性能指标的取值以方便设计查找，其他参数需参考相应规范进行取值。

本文件附录 D 中，提供了扭矩上、下限值的计算确定方法。

D.1 节中基于扭矩与轴向抗拔极限承载力近似呈线性关系的规律认识，推荐了计算基本公式。D.2 节中下限值主要用于承载力评价，当采用试验实测扭矩值作为评价依据时可取均值；当无试验值时采用公式 (D.1) 计算确定，其中根据试验测试结果得到扭矩系数参考如下：

- a) 粉质黏土：流塑、软塑且有地下水地层取值 $6\sim 10\text{ m}^{-1}$ （均值约 7 m^{-1} ）；可塑且有地下水地层取值 $10\sim 14\text{ m}^{-1}$ （均值约 12 m^{-1} ）。
- b) 黏土：流塑~软塑（或淤泥质土）且有地下水地层取值 $10\sim 14\text{ m}^{-1}$ （均值约 12 m^{-1} ）；可塑且有地下水地层取值 $10\sim 14\text{ m}^{-1}$ （均值约 12 m^{-1} ）；硬塑~坚硬且无地下水 $38\sim 40\text{ m}^{-1}$ 。
- c) 粉土：稍密且有地下水地层取值 $10\sim 12\text{ m}^{-1}$ （均值约 11 m^{-1} ）；中密且有地下水地层取值 $23\sim 31\text{ m}^{-1}$ （均值约 26 m^{-1} ）。
- d) 砂土：粉细砂且有地下水约为 $10\sim 12\text{ m}^{-1}$ 。
- e) 碎石土：松散~稍密且无地下水地层取值 $19\sim 23\text{ m}^{-1}$ （均值约 21 m^{-1} ）；中密地层（地下水影响较小）取值 $32\sim 39\text{ m}^{-1}$ 。

需要指出扭矩系数受土质类型、水文地质条件、锚盘直径、埋深、工艺等多重因素影响，当盘径越大一般取参考范围内的较大值，地层密实度等状态尽可能采用原位试验确定，多个地层时一般取锚盘上部抗拔影响范围内土层的平均值。

D.3 节中上限值主要用于施工装备选配及结构设计计算，需要控制基锚实际旋拧扭矩超越该限值的概率，无测试值时通过对不同场地 60 多根基锚旋拧实测结果的统计分析得到扭矩变异系数为 0.06，按旋拧扭矩呈正态分布、单侧置信概率 99% 时计算上限值，即上限值为 1.14 倍下限值；采用测试值时扭矩上限值可视为一种岩土参数，按 GB 50021 有关岩土参数统计方法进行计算，试验数量 n 应考虑所有扭矩测试样本。

本文件附录 E 中，明确了载荷试验、扭矩监测的方法及要求。

在第 E.1.2.1 条中，给出了可取轴向位移为 50mm 或锚盘直径的 10% 和锚身变形量之和所对应的荷载值为极限承载力的建议。国外一些资料提出 10% 的锚盘直径并考虑桩身变形量所对应的荷载，以及巴西美丽山特高压一期、二期工程螺旋锚基桩检测极限位移按 50mm 控制的经验，进行综合取值。实际上，螺旋锚承受上拔作用力时，桩顶变形除了地基压缩变形外往往还因锚杆自身弹性变形及连接螺栓的缝隙，导致变形较大。我国工程应用的螺旋锚锚盘直径跨度较大（一般 300mm 至 800mm），为便于操作**优先取 50mm 极限位移所对应的荷载值为极限承载力。**

第 E.1.2.2 条中，基础横向（含水平）极限承载力给出了宜取相对该突变点的净位移为 30mm 所对应的荷载值的要求，主要是考虑螺旋锚旋拧时因施工精度问题导致浅部锚杆与地基间存在缝隙，试验结果显示，该缝隙是引起加载初期基础产生加大变形的主要原因，此时锚杆并未与土体接触，主要依靠锚杆自身抗弯能力抵抗锚顶的水平力作用，该位移常常达到 10mm 至 20mm。同时借鉴钢管桩水平承载力试验极限位移取值经验，综合分析提出多种情形下的取值要求。