

ICS27.100

P62

备案号: J132—2001

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

**P**

DL/T 5130—2001

---

架空送电线路钢管杆  
设计技术规定

Technical regulation for design of steel  
transmission pole

2001-10-08 发布

2002-02-01 实施

---

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5130-2001

---

# 架空送电线路钢管杆 设计技术规定

**Technical regulation for design of steel  
transmission pole**

主编部门：国家电力公司东北电力设计院

批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

批准文号：国经贸电力〔2001〕997号

## 前 言

根据原电力工业部科学技术司《关于下达 1996 年制定、制订电力行业标准计划项目（第一批）的通知》计综 [1996] 40 号，第 61 项的安排，特制定《架空送电线路钢管杆设计技术规定》，以保证架空送电线路钢管杆结构在设计中做到技术先进、经济合理、安全实用、确保质量。

本规定制定了钢管杆设计的准则，提出了对制造和安装的主要要求。本规定于 1996 年开始编制，1997 年 2 月完成大纲审查，1999 年 12 月完成送审稿审查。在编制过程中，主编单位会同各参编单位，对国内钢管杆的设计、制造及运行部门进行了广泛的调查研究，并做了必要的试验和实测工作。本规定的实施将对国内钢管杆的规范化设计提供了可靠依据。

本规定由电力行业电力规划设计标准化技术委员会提出并归口。

本规定主编单位：国家电力公司东北电力设计院。

参编单位：国家电力公司华东电力设计院、潍坊长安铁塔股份有限公司、无锡华德兴欣钢杆有限公司。

本规定主要起草人：张春奎、侯中伟、高占奎、魏顺炎、唐国安、李喜来、秦益芬、王 军、王世华、任吉华。

本标准委托国家电力公司东北电力设计院负责解释。

## 目 次

### 前言

1 范围 .....	1
2 引用标准 .....	2
3 总则 .....	3
4 术语和符号 .....	4
5 荷载 .....	7
6 基本规定 .....	13
7 材料 .....	15
8 钢管构件及连接计算 .....	18
9 构造要求 .....	29
10 制造和安装要求 .....	31
11 基础 .....	33
附录 A (标准的附录) 本规定用词说明 .....	36
条文说明 .....	37

# 1 范 围

本规定规定了钢管杆设计的准则，及提出了制造安装的主要要求。适用于新建 220kV 及以下电压等级交直流架空送电线路无拉线钢管杆结构设计。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB1300—77 焊接用钢丝
- GB2694—1981 输电线路铁塔制造技术条件
- GB50061—1997 66kV 及以下架空电力线路设计规范
- GB700—1988 碳素结构钢
- GB985—1988 气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸
- GB986—1988 埋弧焊焊缝坡口的基本形式与尺寸
- GB3098.1—1982 紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 1591—1994 低合金高强度结构钢
- GB/T3098.2—1982 紧固件机械性能螺母
- GB/T—5117—1995 碳钢焊条
- GB/T—5118—1995 低合金钢焊条
- GB/T9793—1997 金属和其他无机覆盖层热喷涂锌、铝及其合金
- GBJ17—1988 钢结构设计规范
- DL/T5092—1999 110~500kV 架空送电线路设计技术规程
- DL/T646—1998 输电线路钢管杆制造技术条件

## 3 总 则

**3.0.1** 本规定遵照 GB50061、DL/T5092 中有关杆塔结构设计的主要原则编制。

**3.0.2** 钢管杆设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用可靠度指标度量钢管杆的可靠度。在规定的各种荷载组合作用下或变形的限值条件下，满足线路安全运行的要求。

**3.0.3** 钢管杆的设计应考虑制造工艺、施工方法（包括运输安装）以及运行维护和环境等因素。

**3.0.4** 钢管杆的设计应满足强度、稳定、刚度等方面的要求。设计采用新理论或新结构型式，当缺乏运行经验时，应经过试验验证。

**3.0.5** 在进行钢管杆设计时，除应按本规定执行外，应符合现行国家标准和电力行业标准有关规定的要求。

## 4 术语和符号

### 4.1 术语

#### 4.1.1 重冰区 Heavy ice area

设计冰厚为 20mm 及以上地区。

#### 4.1.2 荷载标准值 Standard value of load

通常是指钢管杆在使用期间可能出现的最大荷载平均值。

#### 4.1.3 荷载设计值 Design value of load

荷载标准值乘以相应的荷载分项系数。

### 4.2 符 号

$A_1$ ——绝缘子串承受风压面积计算值；

$A_g$ ——毛截面面积；

$A_n$ ——净截面面积；

$B_R$ ——有效弯曲半径；

$C$ ——从中和轴至计算点的距离；

$C_X$ 、 $C_Y$ ——计算点在  $X$  轴和  $Y$  轴的投影长度；

$C_G$ ——永久荷载荷载效应系数；

$C_{Qk}$ ——可变荷载荷载效应系数；

$\frac{Q}{I_t}$ ——确定最大弯曲剪应力参数；

$\frac{C}{J}$ ——确定最大扭转剪应力参数；

$D_0$ ——圆的外直径或多边形两对应边、外边至外边的距离；

$D$ ——平均直径；

$G_K$ ——永久荷载标准值；

$I$ ——惯性矩；

$I_X$ 、 $I_Y$ ——绕 X 轴和 Y 轴惯性矩；  
 $J$ ——极惯性矩；  
 $L_w$ ——焊缝计算长度；  
 $L_p$ ——水平档距；  
 $M$ ——弯矩；  
 $M_X$ 、 $M_Y$ ——绕 X 轴和 Y 轴截面弯矩；  
 $N$ ——轴心拉力或压力；  
 $N_1$ 、 $N_2$ ——轴心拉力和轴心压力；  
 $N_V$ 、 $N_t$ ——每个螺栓所承受的剪力和拉力；  
 $N_V^b$ 、 $N_t^b$ 、 $N_c^b$ ——每个螺栓的受剪、受拉和承压承载力设计值；  
 $Q_{ik}$ ——第  $i$  项可变荷载标准值；  
 $R$ ——钢管杆的抗力设计值或钢管外壁半径；  
 $T$ ——拉力或扭矩；  
 $V$ ——基准高度的风速；  
 $W$ ——多边形一条边的平直宽度；  
 $W_0$ ——基准风压标准值；  
 $W_1$ ——绝缘子串风荷载标准值；  
 $W_S$ ——作用在杆身单位长度上的风荷载标准值；  
 $W_X$ ——垂直于导线及地线方向的水平风荷载标准值。  
 $d$ ——导线或地线外径或覆冰时的计算外径或螺栓杆直径；  
 $d_c$ ——螺栓或锚栓在螺纹处有效直径；  
 $f$ ——钢材的强度设计值或螺栓、锚栓抗拉强度设计值；  
 $f_a$ ——多边形构件压弯局部稳定强度设计值；  
 $f_b$ ——环形构件受弯局部稳定强度设计值；  
 $f_c$ ——环形构件受压局部稳定强度设计值；  
 $f_c^w$ 、 $f_t^w$ ——对接焊缝的抗压、抗拉强度设计值；  
 $f_c^b$ 、 $f_v^b$ ——螺栓受压、抗剪强度设计值；

$f_i^w$ ——角焊缝的强度设计值；

$h_e$ ——角焊缝的有效厚度；

$h_f$ ——角焊缝的焊脚尺寸；

$n$ ——螺栓数目；

$n_v$ ——受剪面数目；

$q$ ——均布荷载；

$r$ ——回转半径；

$r_0$ ——重要性系数；

$r_G$ ——永久荷载分项系数；

$r_{Qi}$ ——第  $i$  项可变荷载分项系数；

$t$ ——厚度；

$y_i$ ——螺栓中心到旋转轴的距离；

$y_1$ ——受力最大螺栓中心到旋转轴的距离；

$\alpha$ ——风压不均匀系数，或  $X$  轴和多边形顶角点之间的夹角；

$\beta_z$ ——杆身风荷载调整系数；

$\beta_f$ ——正面角焊缝的强度设计值增大系数；

$\theta$ ——风向与导线或地线方向之间的夹角；

$\mu_{sc}$ ——导线或地线的体型系数；

$\mu_z$ ——风压高度变化系数；

$\mu_s$ ——风荷载体型系数；

$\sigma_f$ ——垂直于焊缝长度方向的应力；

$\tau_f$ ——沿焊缝长度方向的剪应力；

$\psi$ ——可变荷载组合系数；

$\delta$ ——法兰板厚度或变形的规定限值。

## 5 荷 载

### 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 钢管杆承受的荷载一般分解为：横向荷载、纵向荷载和垂直荷载三种。横向荷载是沿横担方向的荷载，如直线杆上导线、地线水平风力，转角杆导线、地线张力产生的水平横向分力等。纵向荷载是垂直于横担方向的荷载，如导线、地线张力在垂直横担或地线支架方向的分量等。垂直荷载是垂直于地面方向的荷载，如导线、地线的重力等。

**5.1.2** 钢管杆应计算线路正常运行情况、断线（含分裂导线时纵向不平衡张力）情况和安装情况下的荷载组合，必要时尚应验算重冰区不均匀覆冰等稀有情况。

### 5.2 正 常 运 行 情 况

**5.2.1** 各类杆的正常运行情况，应计算下列荷载组合：

- 1) 最大风速、无冰、未断线；
- 2) 最大覆冰、相应风速及气温，未断线；
- 3) 最低气温、无冰、无风、未断线（适用于终端杆和转角杆）。

### 5.3 断 线 情 况

**5.3.1** 直线杆（含悬垂转角杆）的断线（含分裂导线时纵向不平衡张力）情况，应计算下列荷载组合：

1 断导线（含分裂导线时纵向不平衡张力）情况

1) 单回路和双回路杆：

单导线时，断任意一根导线，分裂导线时，任意一相有不平衡张力、地线未断、无风、无冰。

单导线的断线张力，应按表 5.3.1 选用。

**表 5.3.1 单导线断线张力与最大使用张力的百分比值**

标称导线截面 (mm <sup>2</sup> )	单导线断线张力与最大使用张力的百分比值 (%)
95 及以下	30
120~185	35
210 及以上	40

两分裂导线的纵向不平衡张力，应取一相导线最大使用张力的 20%。

两分裂以上导线的纵向不平衡张力，应取不小于一相导线最大使用张力的 15%，且不小于 20kN。

针式绝缘子杆的导线断线张力不应小于 3kN。

#### 2) 多回路杆：

单导线时，断任意二根导线；分裂导线时，任意二相有纵向不平衡张力。断线张力或纵向不平衡张力仍按单回路和双回路杆的规定选用。地线未断、无风、无冰。

#### 2 断地线

不论带有多少回路的钢管杆，任意一根地线有不平衡张力，导线未断（无不平衡张力）、无风、无冰。

地线不平衡张力，取最大使用张力的 20%。

### 5.3.2 耐张、转角型杆的断线情况

#### 1 66kV 及以下钢管杆

1) 单回路杆，同档内断任意两相导线（终端杆应考虑断剩两相的情况）；双回路及多回路杆，同档断导线的数量为钢管杆上全部导线数量的三分之一，地线未断、无风、无冰。

2) 断任意一根地线、导线未断、无风、无冰。

#### 2 110~220kV 钢管杆

1) 无论单、多回路，均同一档内断任意两相导线（单回路终端杆应考虑断剩两相的情况）地线未断、无风、无冰。

2) 断任意一根地线、导线未断、无风、无冰。

3 断线情况时，所有的导线和地线的张力，均应分别取最大使用张力的 70% 及 80%。

**5.3.3 重冰区线路各类杆的断线（或纵向不平衡张力）情况时的导线及地线张力，应按覆冰不小于正常覆冰荷载的 50%，无风和气温为  $-5^{\circ}\text{C}$  的条件，由计算确定。**

各类杆的断线数目应与非重冰区的规定相同。同时，尚应验算导线及地线存在不均匀脱冰情况的各种荷载组合：66kV 及以下直线杆应验算导线和地线不同时发生不均匀脱冰各种荷载组合；66kV 及以下耐张杆以及 110~220kV 各类杆应验算导线及地线同时存在有不均匀脱冰情况的各种荷载组合。

**5.3.4 断线情况下的断线张力或纵向不平衡张力均按静态荷载计算。**

## 5.4 安装情况

**5.4.1 各类杆的安装情况，应按 10m/s 风速、无冰、相应气温的气象条件下考虑下列荷载组合：**

### 1 直线杆（包括悬垂转角杆）的安装荷载确定原则

导线或地线及其附件的起吊安装荷载应包括提升重力（一般按两倍计算）、安装工人及工具的附加荷载，提升时应考虑动力系数 1.1，附加荷载可按表 5.4.1 取用：

表 5.4.1 附加荷载 kN

电压 (kV) \ 类别	导 线		地 线	
	直线杆	耐张杆	直线杆	耐张杆
110 及以下	1.5	2.0	1.0	1.5
220	3.5	4.5	2.0	2.0

### 2 耐张杆的安装荷载确定原则

1) 锚地线时，相邻档内的导线及地线均未架设；锚导线时，在同档内的地线已架设。

紧地线时，相邻档内的地线已架设或未架设，同档内的导线均未架设；紧导线时，同档内的地线已架设，相邻档内的导线已架设或未架设。

2) 挂线或紧线时均允许计及临时拉线的作用，临时拉线对地夹角不大于  $45^\circ$ ，其方向与导线、地线方向一致。

3) 紧线牵引绳对地夹角一般按不大于  $20^\circ$  考虑，计算紧线张力时应计及导线及地线的初伸长，施工误差和过牵引的影响。

4) 挂线或紧线时应考虑 1.1 的动力系数。附加荷载按表 5.4.1 取用。

3 导线、地线的架设次序，一般考虑自上而下逐相架设，对双回路或多回路钢管杆，应按实际需要，考虑分期架设的情况。

## 5.5 导线及地线风荷载的标准值

5.5.1 导线及地线风荷载的标准值按下式计算：

$$W_X = \alpha \cdot W_0 \mu_z \cdot \mu_{sc} \cdot d \cdot L_p \cdot \sin^2 \theta \quad (5.5.1-1)$$

$$W_0 = V^2 / 1600 \quad (5.5.1-2)$$

式中： $W_X$ ——垂直于导线及地线方向的水平风荷载标准值，kN；

$\alpha$ ——风压不均匀系数，根据设计基准风速，应按照表 5.5.1-1 取用；

$\mu_z$ ——风压高度变化系数，按表 5.5.1-2 取用；

$\mu_{sc}$ ——导线或地线的体型系数：线径小于 17mm 或覆冰时（不论线径大小）应取  $\mu_{sc} = 1.2$ ；线径大于或等于 17mm 时，应取  $\mu_{sc} = 1.1$ ；

$d$ ——导线或地线的外径或覆冰时的计算外径；分裂导线取所有子导线外径的总和，m；

$L_p$ ——杆的水平档距，m；

$\theta$ ——风向与导线或地线方向之间的夹角，°；

$W_0$ ——基准风压标准值， $\text{kN}/\text{m}^2$ ；

$V$ ——基准高度的风速,  $m/s$ 。

表 5.5.1-1 风压不均匀系数  $\alpha$

风速 $v$ ( $m/s$ )	$\leq 15$	$20 \leq V < 30$	$30 \leq V < 35$	$\geq 35$
$\alpha$	1.00	0.85	0.75	0.70

表 5.5.1-2 风压高度变化系数  $\mu_z$

离地面高 ( $m$ )	10	15	20	30	40	50	60
$\mu_z$	0.88	1.00	1.10	1.25	1.37	1.47	1.56
注: 中间值按插入法计算							

## 5.6 杆身风荷载的标准值

### 5.6.1 杆身风荷载的标准值按下式计算:

$$W_S = W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_s \cdot \beta_z \cdot D \quad (5.6.1)$$

式中:  $W_S$ ——作用在杆身单位长度上的风荷载标准值,  $kN/m$ ;

$\mu_s$ ——风载体型系数, 按表 5.6.1-1 取用;

$\beta_z$ ——杆身风荷载调整系数, 按表 5.6.1-2 取用;

$D$ ——杆身直径的平均值,  $m$ 。

表 5.6.1-1 风载体型系数

断面形状	风载体型系数 $\mu_s$
环形及十六边形以上	0.9
十二边形	1.1
八边形及六边形	1.2
四边形	1.6
注: 已包括杆身附件的影响	

表 5.6.1-2 杆身风荷载调整系数  $\beta_z$

杆全高 (m)	20	30	40	50	60
66kV 及以下	1.0	1.2	1.2	1.2	1.5
110~220kV	1.0	1.25	1.35	1.5	1.6
注：中间值按插入法计算					

## 5.7 绝缘子串风荷载的标准值

5.7.1 绝缘子串风荷载的标准值按下式计算：

$$W_1 = W_0 \cdot \mu_z \cdot A_1 \quad (5.7.1)$$

式中： $W_1$ ——绝缘子串风荷载标准值，kN；

$A_1$ ——绝缘子串承受风压面积计算值， $m^2$ 。

## 6 基本规定

### 6.1 计算的基本规定

**6.1.1** 钢管杆的极限状态是指在规定的各种荷载组合作用下或变形限制条件下，满足线路安全运行的临界状态。极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

1 承载能力极限状态：钢管杆达到最大承载力或不适合继续承载的变形。其表达式为：

$$\gamma_0(\gamma_G \cdot C_G \cdot G_K + \psi \cdot \sum \gamma_{Qi} \cdot C_{Qi} \cdot Q_{ik}) \leq R \quad (6.1.1-1)$$

式中： $\gamma_0$ ——钢管杆重要性系数，按安全等级选定。一级：特别重要的钢管杆取  $\gamma_0 = 1.1$ ；二级：各级电压线路的钢管杆，应取  $\gamma_0 = 1.0$ ；三级：临时使用的钢管杆，应取  $\gamma_0 = 0.9$ ；

$\gamma_G$ ——永久荷载的分项系数，对钢管杆受力有利时，宜取  $\gamma_G = 1.0$ ；不利时，应取  $\gamma_G = 1.2$ ；

$\gamma_{Qi}$ ——第  $i$  项可变荷载的分项系数，应取  $\gamma_{Qi} = 1.4$ ；

$G_K$ ——永久荷载标准值；

$Q_{ik}$ ——第  $i$  项可变荷载标准值；

$\psi$ ——可变荷载组合系数，按表 6.1.1-1 取用；

$C_G$ 、 $C_{Qi}$ ——分别为永久荷载和可变荷载的荷载效应系数；

$R$ ——钢管杆的抗力设计值。

2 正常使用极限状态：钢管杆的变形达到正常使用的规定限值。其计算表达式为：

$$C_G \cdot G_K + \psi \cdot \sum C_{Qi} Q_{ik} \leq \delta \quad (6.1.1-2)$$

式中： $\delta$ ——钢管杆变形的规定限制值

### 6.1.2 钢管杆荷载的分类

表 6.1.1-1 可变荷载组合系数

荷载情况		$\Psi$
正常运行情况		1.0
断线情况	220kV 直线杆和各种电压等级的耐张、转角杆	0.9
	110kV 及以下直线杆	0.75
安装情况		0.9
验算情况		0.75

1 永久荷载。导线及地线、绝缘子及其附件和结构构件与杆上的各种固定设备等的重力荷载；

2 可变荷载。风和冰（雪）荷载；导线、地线的张力；安装检修的各种附加荷载；结构变形引起的次生荷载以及各种振动动力荷载。

6.1.3 钢管杆的强度、稳定和连接强度，应按承载力极限状态的要求，采用荷载的设计值和材料强度的设计值进行计算；钢管杆的变形，应按正常使用极限状态的要求，采用荷载的标准值和正常使用规定限值进行计算。

6.1.4 钢管杆的计算应考虑挠度的二次效应影响。

6.1.5 外壁的坡度小于 2% 的钢管杆，应计及风激横向振动的效应。

## 6.2 结构基本规定

6.2.1 在荷载的长期效应组合（无冰、风速 5m/s 及年平均气温）作用下，钢管杆杆顶的最大挠度不应超过下列数值：

1 直线型杆

- 1) 直线杆不大于杆身高度的 5‰；
- 2) 直线转角杆不大于杆身高度的 7‰。

2 转角和终端杆

- 1) 66kV 及以下电压等级挠度不大于杆身高度的 15‰；
- 2) 110kV~220kV 电压等级挠度不大于杆身高度的 20‰。

注：杆身高度应从基础顶面算起。

## 7 材 料

### 7.1 钢管杆使用材料的原则及要求

7.1.1 钢管杆的钢材一般采用 Q235、Q345，有条件时也可采用 Q390 钢。钢材的强度设计值及物理特性指标应符合 GBJ17、GB700 和 GB/T1591。

7.1.2 对钢材手工焊焊接用焊条应符合 GB/T5117 和 GB/T5118 的规定。

7.1.3 对自动焊和半自动焊应采用与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数值。焊丝应符合 GB1300 规定的要求。

7.1.4 螺栓和螺母的材质及其机械特性应分别符合 GB3098.1 和 GB3098.2 的规定。

### 7.2 钢管杆常用材料性能

7.2.1 钢管杆常用材料性能见表 7.2.1-1。

表 7.2.1-1 钢材（钢板）机械性能

标准代号	牌号	拉伸试验				180°冷弯试验 $d$ 弯心直径 $a$ 试样厚度 mm
		屈服点 (N/mm <sup>2</sup> )		抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta_5\%$ 不小于	
		钢材厚度 (mm)				
GB700	Q235	235	225	375~460	26	纵: $d = a$ 横: $d = 1.5a$
GB/T1591	Q345	345	325	470~630	21	$d = 2a$ 钢材厚度 $\leq 16\text{mm}$
	Q390	390	370	490~650	19	$d = 3a$ 钢材厚度 $> 16 \sim 100\text{mm}$

表 7.2.1-2 钢材 (钢板) 化学成分

标准代号	牌号	化学成分%				
		C $\leq$	Mn	Si $\leq$	P $\leq$	S $\leq$
GB700	Q235A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.045	0.05
GB/T1591	Q345A	$\leq 0.2$	1.00~1.60	0.55	0.045	0.045
	Q390A	$\leq 0.2$	1.00~1.60	0.55	0.045	0.045

表 7.2.1-3 钢材 (钢板) 弹性模量

钢材弹性模量 E N/mm <sup>2</sup>	(2.0~2.1) $\times 10^5$
-------------------------------	-------------------------

7.2.2 钢材、螺栓、锚栓和焊缝的强度设计值应分别按照表 7.2.2-1 和表 7.2.2-2 取用。

表 7.2.2-1 钢材、螺栓和锚栓的强度设计值 N/mm<sup>2</sup>

类别		钢材厚度或螺栓直径 (mm)	抗拉 $f$	抗压和抗弯 $f$	抗剪 $f^t$	孔壁承压 <sup>*</sup> $f_c^t$
钢	Q235	$\leq 20$	215	215	125	370
		$> 20 \sim 40$	200	200	115	
		$> 40 \sim 50$	190	190	110	
	Q345	$\leq 16$	315	315	185	510
		17~25	300	300	175	490
		26~36	290	290	170	470
Q390	$\leq 16$	350	350	205	530	
	17~25	335	335	195	510	
	26~36	320	320	185	490	
镀锌粗制螺栓	4.8 级		200	—	170	—
	5.8 级		240	—	210	—
	6.8 级		300	—	240	—
	8.8 级		400	—	300	—
锚栓	Q235 钢	外径 $\geq 16$	160	—	—	—
	35 号优 质碳素钢	外径 $\geq 16$	190	—	—	—

注 \* 适用于构件上螺栓端距大于等于 1.5d (d 螺栓直径)

表 7.2.2-2 焊缝的强度设计值

N/mm<sup>2</sup>

焊接方法和 焊条型号	钢材 (钢板)		对接焊缝			角焊缝	
	钢号	厚度 (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 $f_v^w$	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 钢	≤20	215	215	185	125	160
		>20~40	200	200	170	115	160
		>40~50	190	190	160	110	160
自动焊、半自动 焊和 E50 × 型焊 条的手工焊	Q345 型	≤16	315	315	270	185	200
		17~25	300	300	255	175	200
		26~36	290	290	245	170	200
自动焊、半自动 焊和 E55 × 型焊 条的手工焊	Q390 钢	≤16	350	350	300	205	220
		17~25	335	335	285	195	220
		26~36	320	320	270	185	220

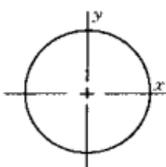
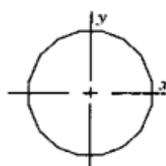
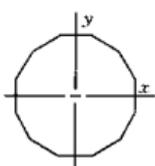
注：自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属抗拉强度不低于相应手工焊焊条的数值

## 8 钢管构件及连接计算

### 8.1 断面特性

8.1.1 常用的钢管断面特性可采用表 8.1.1 中的近似计算公式

表 8.1.1 钢管断面的特性

断面型式	断面特性	
环形 	$A_g = 3.14D \cdot t$ $I_x = I_y = 0.393D^3 \cdot t$ $C_x = 0.5 (D + t) \cos \alpha$ $C_y = 0.5 (D + t) \sin \alpha$	$r = 0.354D$ $\text{Max } Q/I_t = \frac{0.637}{D \cdot t}$ $\text{Max } C/J = \frac{0.637 (D + t)}{D^3 \cdot t}$
十六边形 	$A_g = 3.19D \cdot t$ $I_x = I_y = 0.403D^3 \cdot t$ $C_x = 0.510 (D + t) \cos \alpha$ $C_y = 0.510 (D + t) \sin \alpha$ $\alpha = 11.25, 33.75,$ $56.25, 78.75^\circ$	$r = 0.356D$ $\text{Max } Q/I_t = \frac{0.634}{D \cdot t}$ $\text{Max } C/J = \frac{0.628 (D + t)}{D^3 \cdot t}$ $W = 0.199 (D - t - 2BR)$
十二边形 	$A_g = 3.22D \cdot t$ $I_x = I_y = 0.411D^3 \cdot t$ $C_x = 0.518 (D + t) \cos \alpha$ $C_y = 0.518 (D + t) \sin \alpha$ $\alpha = 15, 45, 75^\circ$	$r = 0.358D$ $\text{Max } Q/I_t = \frac{0.631}{D \cdot t}$ $\text{Max } C/J = \frac{0.622 (D + t)}{D^3 \cdot t}$ $W = 0.268 (D - t - 2BR)$

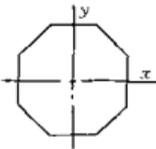
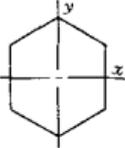
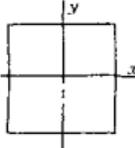
断面型式	断面特性	
<p style="text-align: center;">八边形</p> 	$A_g = 3.32D \cdot t$ $I_x = I_y = 0.438D^3 \cdot t$ $C_x = 0.541(D+t) \cos \alpha$ $C_y = 0.541(D+t) \sin \alpha$ $\alpha = 22.5^\circ, 67.5^\circ$	$r = 0.364D$ $\text{Max } Q/I_t = \frac{0.618}{D \cdot t}$ $\text{Max } C/J = \frac{0.603(D+t)}{D^3 \cdot t}$ $W = 0.414(D-t-2BR)$
<p style="text-align: center;">六边形</p> 	$A_g = 3.46D \cdot t$ $I_x = I_y = 0.481D^3 \cdot t$ $C_x = 0.577(D+t) \cos \alpha$ $C_y = 0.577(D+t) \sin \alpha$ $\alpha = 30^\circ, 90^\circ$	$r = 0.373D$ $\text{Max } Q/I_t = \frac{0.606}{D \cdot t}$ $\text{Max } C/J = \frac{0.577(D+t)}{D^3 \cdot t}$ $W = 0.577(D-t-2BR)$
<p style="text-align: center;">四边形</p> 	$A_g = 4.00D \cdot t$ $I_x = I_y = 0.666D^3 \cdot t$ $C_x = 0.707(D+t) \cos \alpha$ $C_y = 0.707(D+t) \sin \alpha$ $\alpha = 45^\circ$	$r = 0.408D$ $\text{Max } Q/I_t = \frac{0.563}{D \cdot t}$ $\text{Max } C/J = \frac{0.500(D+t)}{D^3 \cdot t}$ $W = (D-t-2BR)$

表 8.1.1 中的符号意义如下:

$\alpha$ ——X 轴和多边形顶角点之间的夹角,°;

$D$ ——平均直径,  $D = D_0 - t$ , mm;

$D_0$ ——圆的外直径或多边形两对应边, 外边至外边的距离, mm;

$t$ ——厚度, mm;

$A_g$ ——毛截面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$I_x$ ——绕 X 轴的毛截面惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;

$I_y$ ——绕 Y 轴的毛截面惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;

$C_x$ ——计算点在 X 轴的投影长度, mm;

$C_y$ ——计算点在 Y 轴的投影长度, mm;

$r$ ——回转半径 mm;

$\frac{Q}{I_t}$ ——确定最大弯曲剪应力的参数,  $1/\text{mm}^2$ ;

$\frac{C}{J}$ ——确定最大扭转剪应力的参数,  $1/\text{mm}^3$ ;

$J$ ——极惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;

$W$ ——多边形一条边的平直宽度, mm, (图 8.1.1);

$BR$ ——有效弯曲半径, mm, (图 8.1.1);

如果弯曲半径  $< 4t$ ,  $BR = \text{实际弯曲半径}$ ;

如果弯曲半径  $> 4t$ ,  $BR = 4t$ 。

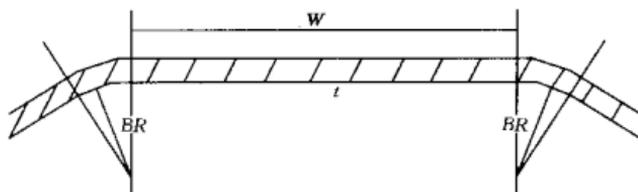


图 8.1.1 多边形断面的展开宽度和弯曲半径

## 8.2 钢管构件计算

### 8.2.1 构件的轴心受拉强度计算

$$\frac{N_1}{A_n} \leq f \quad (8.2.1-1)$$

式中:  $N_1$ ——轴心拉力, N;

$A_n$ ——净截面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$f$ ——钢材的强度设计值,  $\text{N}/\text{mm}^2$ 。

### 8.2.2 多边形构件的压弯局部稳定计算

#### 1 多边形构件压弯局部稳定的强度设计值

1) 当  $W/t$  符合下列要求时, 其强度设计值取钢材的强度设计值。

四边形、六、八边形

$$\text{当 } \frac{W}{t} \leq \frac{660}{\sqrt{f}} \text{ 时, } f_a = f \quad (8.2.2-1)$$

十二边形

$$\text{当 } \frac{W}{t} \leq \frac{610}{\sqrt{f}} \text{ 时, } f_a = f \quad (8.2.2-2)$$

十六边形

$$\text{当 } \frac{W}{t} \leq \frac{545}{\sqrt{f}} \text{ 时, } f_a = f \quad (8.2.2-3)$$

式中： $f_a$ ——多边形构件压弯局部稳定的强度设计值，N/mm<sup>2</sup>。

2) 当  $W/t$  不符合式 (8.2.2-1)、式 (8.2.2-2)、式 (8.2.2-3) 要求时，其强度设计值按下列公式计算：

四边形、六、八边形

当  $660 \leq \sqrt{f} \frac{W}{t} \leq 925$  时，

$$f_a = 1.42f (1.0 - 0.000448 \sqrt{f} \frac{W}{t}) \quad (8.2.2-4)$$

十二边形

当  $610 \leq \sqrt{f} \frac{W}{t} \leq 925$  时，

$$f_a = 1.45f (1.0 - 0.000507 \sqrt{f} \frac{W}{t}) \quad (8.2.2-5)$$

十六边形

当  $545 \leq \sqrt{f} \frac{W}{t} \leq 925$  时，

$$f_a = 1.42f (1.0 - 0.000539 \sqrt{f} \frac{W}{t}) \quad (8.2.2-6)$$

2 多边形构件的压弯局部稳定计算

$$\frac{N_2}{A_g} + \frac{M_x \cdot C_y}{I_x} \leq f_a \quad (8.2.2-7)$$

$$\frac{N_2}{A_g} + \frac{M_y \cdot C_x}{I_y} \leq f_a \quad (8.2.2-8)$$

式中： $N_2$ ——轴心压力，N；

$M_x$ ——绕 X 轴截面弯矩, N·mm;

$M_y$ ——绕 Y 轴截面弯矩, N·mm。

### 8.2.3 环形构件压弯局部稳定计算

#### 1 环形构件受压和受弯局部稳定强度设计值

1) 当  $D_0/t$  符合下列要求时, 受压和受弯局部稳定强度设计值取钢材的强度设计值。

受压

$$\text{当 } \frac{D_0}{t} \leq \frac{24100}{f} \text{ 时, } f_c = f \quad (8.2.3-1)$$

受弯

$$\text{当 } \frac{D_0}{t} \leq \frac{38060}{f} \text{ 时, } f_b = f \quad (8.2.3-2)$$

式中:  $f_c$ ——环形构件受压局部稳定强度设计值, N/mm<sup>2</sup>;

$f_b$ ——环形构件受弯局部稳定强度设计值, N/mm<sup>2</sup>。

2) 当  $D_0/t$  不符合式 (8.2.3-1)、式 (8.2.3-2) 要求时, 其强度设计值按下列公式计算

受压

$$\begin{aligned} \text{当 } \frac{24100}{f} \leq \frac{D_0}{t} \leq \frac{76130}{f} \text{ 时,} \\ f_c = 0.75f + \frac{6025}{D_0/t} \end{aligned} \quad (8.2.3-3)$$

受弯

$$\begin{aligned} \text{当 } \frac{38060}{f} \leq \frac{D_0}{t} \leq \frac{76130}{f} \text{ 时,} \\ f_b = 0.7f + \frac{11410}{D_0/t} \end{aligned} \quad (8.2.3-4)$$

#### 2 环形构件压弯局部稳定计算

$$\frac{N_2}{A_g \cdot f_c} + \frac{M \cdot C}{I \cdot f_b} \leq 1 \quad (8.2.3-5)$$

式中:  $C$ ——从中和轴至计算点的距离, mm;

$I$ ——截面惯性矩, mm<sup>4</sup>。

### 8.2.4 多边形或环形构件的弯曲强度计算

$$\frac{M \cdot C}{I} \leq f_b \text{ (多边形)} \quad (8.2.4-1)$$

$$\text{或} \leq f_b \text{ (环形)} \quad (8.2.4-2)$$

### 8.2.5 多边形或环形构件的剪切强度计算

$$V \cdot \frac{Q}{It} + T \cdot \frac{C}{J} \leq 0.58f \quad (8.2.5)$$

式中:  $V$ ——剪力, N;

$T$ ——扭矩, N·mm。

### 8.2.6 多边形或环形构件的复合受力强度计算

$$\left( \frac{N_2}{A_g} + \frac{M_x \cdot C_y}{I_x} + \frac{M_y \cdot C_x}{I_y} \right)^2 + 3 \left( V \cdot \frac{Q}{It} + T \cdot \frac{C}{J} \right)^2 \leq f_b^2 \text{ (多边形)} \quad (8.2.6-1)$$

$$\text{或} \leq f_b^2 \text{ (环形)} \quad (8.2.6-2)$$

## 8.3 连接计算

### 8.3.1 焊缝连接

#### 1 对接焊缝计算

1) 在对接接头和 T 形接头中, 垂直于轴心拉力或轴心压力的对接焊缝, 其强度应按下式计算:

$$\sigma = \frac{N}{L_w \cdot t} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w \quad (8.3.1-1)$$

式中:  $N$ ——轴心拉力或轴心压力, N;

$L_w$ ——焊缝的计算长度, mm;

$t$ ——在对接接头中为连接件的较小厚度; 在 T 形接头中为腹板的厚度, mm;

$f_t^w$ 、 $f_c^w$ ——对接焊缝的抗拉、抗压强度设计值, N/mm<sup>2</sup>。

2) 在对接接头和 T 形接头中, 承受弯矩和剪力共同作用的对接焊缝, 其正应力和剪应力应分别进行计算。但在同时受有较

大正应力和剪应力处，应按下式计算折算应力：

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1f_t^w \quad (8.3.1-2)$$

注 1 当承受轴心力的板件用斜焊缝对接，焊缝与作用力间的夹角  $\theta$  符合  $\text{tg}\theta \leq 1.5$  时，其强度可不计算；

2 当对接焊缝无法采用引弧板施焊时，每条焊缝的长度计算时应各减去 10mm。

2 直角角焊缝（图 8.3.1）的强度计算

1) 在通过焊缝形心的拉力、压力或剪力作用下：

当力垂直于焊缝长度方向时，

$$\sigma_f = \frac{N}{h_e \cdot L_w} \leq \beta_f \cdot f_t^w \quad (8.3.1-3)$$

当力平行于焊缝长度方向时，

$$\tau_f = \frac{N}{h_e \cdot L_w} \leq f_t^w \quad (8.3.1-4)$$

2) 在其它力或各种力综合作用下， $\sigma_f$  和  $\tau_f$  共同作用处：

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} \leq f_t^w \quad (8.3.1-5)$$

式中： $\sigma_f$ ——按焊缝有效截面（ $h_e L_w$ ）计算，垂直于焊缝长度方向的应力， $\text{N}/\text{mm}^2$ ；

$\tau_f$ ——按焊缝有效截面计算，沿焊缝长度方向的剪应力， $\text{N}/\text{mm}^2$ ；

$h_e$ ——角焊缝的有效厚度，对直角角焊缝等于  $0.7h_f$ （ $h_f$  为较小焊脚尺寸），mm；

$L_w$ ——角焊缝的计算长度，对每条焊缝取其实际长度减去 10mm；

$f_t^w$ ——角焊缝的强度设计值， $\text{N}/\text{mm}^2$ ；

$\beta_f$ ——正面角焊缝的强度设计值增大系数；对承受静力荷载和间接承受动力荷载的结构， $\beta_f = 1.22$ ；对直接承受动力荷载的结构， $\beta_f = 1.0$ 。

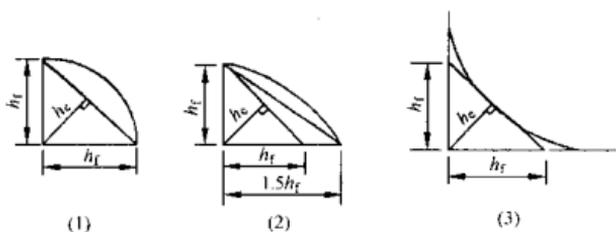


图 8.3.1 直角角焊缝截面

3 角钢与钢板连接的角焊缝，角钢肢背、肢尖的焊缝的受力可按 7:3 分配。

### 8.3.2 螺栓连接

1 在螺栓受剪的连接中，每个螺栓的承载力设计值应取受剪和承压承载力设计值中的较小者：

受剪承载力设计值

$$N_v^b = n_v \frac{\pi \cdot d^2}{4} f_v^b \quad (8.3.2-1)$$

承压承载力设计值

$$N_c^b = d \cdot \sum t \cdot f_c^b \quad (8.3.2-2)$$

式中： $n_v$ ——受剪面数目；

$d$ ——螺栓杆直径，mm；

$\sum t$ ——在同一受力方向的承压构件的较小总厚度，mm；

$f_v^b$ 、 $f_c^b$ ——螺栓的抗剪和受压强度设计值，N/mm<sup>2</sup>。

2 在螺栓或锚栓杆轴方向受拉的连接中，每个螺栓或锚栓的承载力设计值应按下列公式计算：

$$N_t^b = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot f \quad (8.3.2-3)$$

式中： $d_e$ ——螺栓或锚栓在螺纹处的有效直径，mm；

$f$ ——螺栓、螺拴的抗拉强度设计值，N/mm<sup>2</sup>；

注：当法兰板底面与基础顶面之间的距离不超过 2 倍锚栓直径时，锚栓可按公式 (8.3.2-3) 计算，忽略弯矩影响。

3 同时承受剪力和轴向拉力的螺栓，应符合下列公式的要求：

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1 \quad (8.3.2-4)$$

$$N_v \leq N_c^b \quad (8.3.2-5)$$

式中： $N_v$ 、 $N_t$ ——每个螺栓所承受的剪力和拉力，N；

$N_v^b$ 、 $N_t^b$ 、 $N_c^b$ ——每个螺栓的受剪、受拉和承压承载力设计值，N。

### 8.3.3 法兰连接

1 法兰螺栓的最大拉力，应按下列公式计算（图 8.3.3-1）：

$$N_{t1 \max}^b = \frac{M \cdot Y_1}{\sum Y_i^2} \pm \frac{N}{n} \leq N_t^b \quad (8.3.3-1)$$

式中： $M$ ——法兰所受的弯矩，N·mm；

$N$ ——法兰所受的轴向作用力，压力时取用负值，N；

$Y_i$ ——螺栓中心到旋转轴的距离（见图 8.3.3-1），mm；

$Y_1$ ——受力最大螺栓中心到旋转轴的距离，mm；

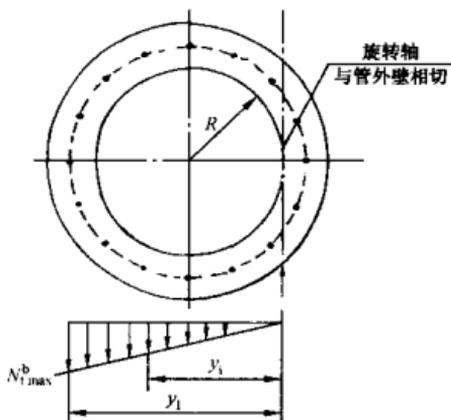


图 8.3.3-1 法兰螺栓受力简图

$R$ ——钢管外壁半径, mm;

$N_t^b$ ——螺栓承载力设计值, N。

注: 当法兰与基础混凝土顶面均匀接触时, 取管外壁切线为旋转轴;

当法兰支承于螺母上时, 应取法兰中心为旋转轴。

2 法兰板应按下列公式计算, (图 8.3.3-2):

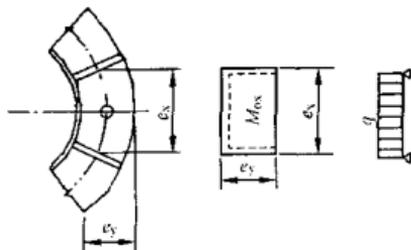


图 8.3.3-2 法兰板受力简图

1) 板上均布荷载:

$$q = \frac{N_t^b}{l_x \cdot l_y}$$

2) 板中弯矩:

$$M_{Ox} = \beta \cdot q \cdot l_x^2 \quad (8.3.3-2)$$

表 8.3.3 弯矩系数  $\beta$

$l_y/l_x$	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
系数	0.0273	0.0355	0.0439	0.0522	0.0602	0.0677	0.0747	0.0812
$l_y/l_x$	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	
系数	0.0871	0.0924	0.0972	0.1015	0.1053	0.1087	0.1117	

3) 法兰板厚度

$$\delta = \sqrt{\frac{5M_{Ox}}{f}} \quad (8.3.3-3)$$

式中:  $\delta$ ——法兰板的厚度, mm。

3 法兰肋板, 应按下列公式计算 (图 8.3.3-3):

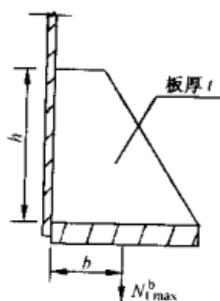


图 8.3.3-3 肋板计算简图

$$\text{剪应力: } \tau_f = \frac{N_{t \max}^b}{h \cdot t} \leq f_v$$

$$\text{正应力: } \sigma_f = \frac{5N_{t \max}^b}{h^2 \cdot t} \leq f$$

## 9 构造要求

### 9.1 一般规定

9.1.1 钢管结构的连接构造应便于制作、安装、维护并使结构受力简单明确，减少应力集中。

9.1.2 受力构件及其连接件的最小厚度不宜小于 3mm，螺栓直径不宜小于 16mm。

9.1.3 钢管套接接头的套接长度，应取外面套入段最大内径的 1.5 倍。

9.1.4 锚栓的孔径宜为锚栓直径的 1.1 倍，螺栓的孔径宜比螺栓直径大 1.5mm。

9.1.5 法兰盘与基础顶面之间宜留设置调节螺母的间隙，其间隙一般可取锚栓直径的 1.5 倍。

9.1.6 钢管杆身及横担应设置攀登装置。

### 9.2 焊缝连接

9.2.1 焊缝金属应与被焊钢材相适应。当不同强度的钢材连接时，宜采用与低强度钢材相适应的焊接材料。

9.2.2 对接焊缝的坡口形式，应根据板厚和施工条件按 GB/T985 和 GB/T986 的要求选用。

9.2.3 在对接焊缝的拼接处：当焊件的宽度不同或厚度相差 4mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡度不大于 1/4 的斜角（图 9.2.3）；当厚度不同时，焊缝坡口形式应根据较薄焊件厚度按 9.2.2 条的要求取用。

9.2.4 角焊缝的尺寸应符合下列要求：

1 角焊缝的焊脚尺寸  $h_f$  (mm) 不得小于  $1.5\sqrt{t}$ ， $t$  为较厚焊件厚度 (mm)，但对自动焊，最小焊脚尺寸可减小 1mm；对 T 形连接的单面角焊缝，应增加 1mm。当焊件厚度等于或小于

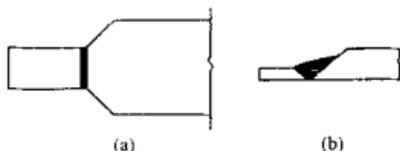
4mm 时，则最小焊脚尺寸应与焊件厚度相同。

2 角焊缝的焊脚尺寸不宜大于较薄焊件厚度的 1.2 倍，但板件（厚度为  $t$ ）边缘的角焊缝最大焊脚尺寸，尚应符合下列要求：

- 1) 当  $t \leq 6\text{mm}$  时， $h_f \leq t$ ；
- 2) 当  $t > 6\text{mm}$  时， $h_f \leq t - (1 \sim 2)\text{mm}$ 。

3 角焊缝的两焊脚尺寸宜相等。当焊件的厚度相差较大，且等焊脚尺寸不能符合第 1 第 2 项要求时，可采用不等焊脚尺寸，与较薄焊件接触的焊脚也应符合第 2 项的要求；与较厚焊件接触的焊脚边应符合第 1 项的要求。

4 角焊缝的计算长度不得小于  $8h_f$  和 40mm，不宜大于  $60h_f$ ，当大于  $60h_f$  时，计算长度取  $60h_f$ 。



(a) 不同宽度；(b) 不同厚度

图 9.2.3 不同宽度或厚度钢板的拼接

## 10 制造和安装要求

### 10.1 焊接要求

**10.1.1** 根据焊缝所处的位置、设计计算的结果，确定适当的焊缝级别，并需达到 DL/T646 中的一、二级焊缝，应在施工图上注明。

**10.1.2** 环形焊缝必须 100% 焊透，并施行 100% 超声波检查或 100% 磁粉探伤。

**10.1.3** 杆身或横担的纵向焊缝应尽量布置在钢管的中和轴附近。

**10.1.4** 套接杆段外套接头处（1.5 倍多边形外套管内对边尺寸加 200mm 范围内）的纵向焊缝以及对接杆身环焊缝 200mm 范围内的纵向焊缝必须 100% 焊透，并施行 100% 超声波检查或 100% 磁粉探伤。

### 10.2 制造精度

**10.2.1** 制造精度要求应满足 DL/T646 的有关规定，如有特殊要求，需在施工图中注明

### 10.3 表面防腐

**10.3.1** 钢管杆（包括主杆及附件）一般采用热浸镀锌防腐，特殊情况时也可采用热喷涂锌等防腐措施。

**10.3.2** 热浸镀锌的质量要求和试验方法按 GB2694 执行；热喷涂锌的质量要求和试验方法按 GB/T9793 执行。

### 10.4 运输和安装

**10.4.1** 钢管杆运输及安装过程中，均应保证表面防护层不被破坏。

10.4.2 钢管杆应设置安装吊点。

10.4.3 采用套接方式的钢管杆，应保证其最小套接压力，见表 10.4.3

表 10.4.3 最小轴向套接压力

外套管内对边尺寸 (mm)	轴向套接压力 (kN)
小于 300	40
300~500	60
500~700	80
700~900	100
900~1200	120
1200~1400	160
1400~1600	200
1600~1800	240
1800~2000	300
大于 2000	400

# 11 基 础

## 11.1 钢 套 筒 式 基 础

11.1.1 钢套筒式基础（见图 11.1.1）适用于钻孔难以成型的软质地基。

## 11.2 直 埋 式 基 础

11.2.1 直埋式基础（见图 11.2.1）适用于钻孔或开挖容易成型的地基。

## 11.3 钻 孔 灌 注 桩 基 础

11.3.1 钻孔灌注桩基础（见图 11.3.1）适用地质条件较差的地基。

## 11.4 预 制 桩 基

11.4.1 预制桩一般有钢桩及混凝土桩，适用于钻孔、掏挖均难以成型且承载力很低的地基情况。

## 11.5 台 阶 式 基 础

11.5.1 台阶式基础，主要用于开挖比较容易的地区。

## 11.6 岩 锚 基 础

11.6.1 岩锚基础适用于岩石地基。

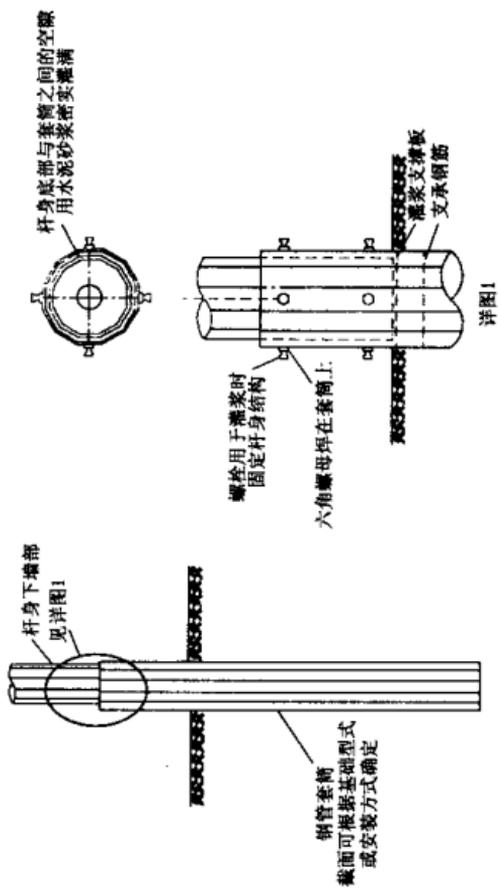


图 11.1.1 钢套筒式基础简图

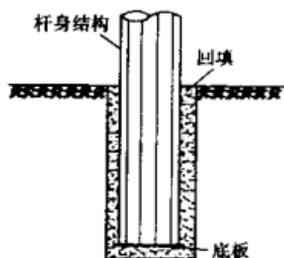


图 11.2.1 直埋式基础简图

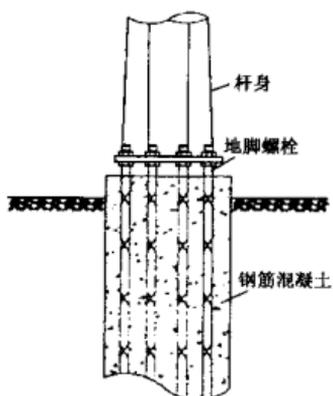


图 11.3.1 钻孔灌注桩基础简图

## 附录 A (标准的附录)

---

### 本规定用词说明

**A1** 为便于在执行本规定条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

**A1.1** 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

**A1.2** 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

**A1.3** 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”或“一般”,反面词采用“不宜”。

**A1.4** 表示允许有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

**A2** 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合…规定”或“应按…执行”。

# DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5130-2001

---

## 架空送电线路钢管杆 设计技术规定

### 条文说明

主编部门：国家电力公司东北电力设计院

批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

## 目 次

1 范围	39
3 总则	40
5 荷载	41
6 基本规定	43
7 材料	45
8 钢管构件及连接计算	46
9 构造要求	48
10 制造和安装要求	49
11 基础	50

# 1 范 围

鉴于钢管杆结构在我国尚在起始阶段，且目前所使用的最高电压等级为 220kV，故本规定暂适用于 220kV 及以下电压等级的送电线路钢管杆结构设计。更高电压等级的钢管杆可结合 DL/T5092—1999《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》，参照本规定进行设计。

通讯钢管杆等类似结构的设计可参照本规定。

## 3 总 则

**3.0.2** 以概率理论为基础的极限状态设计法是当前国际上结构设计较先进的方法。这种方法以结构的失效概率来定义结构的可靠度，并以与其对应的可靠指标来度量结构的可靠度，能够较好地反映结构可靠度的实质，使概念更科学和明确。现行 GB50061—97《66kV 及以下架空电力线路设计规范》，DL/T 5092—1999《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》（以下简称《规范》《规程》）杆塔结构设计采用了概率极限状态设计法。因此，本《规定》遵循《规范》《规程》的设计方法。

**3.0.3** 钢管杆的断面型式，管壁厚度的确定，尚应考虑我国目前钢管杆制造厂家的卷管机，压力机等设备情况；杆段分解长度的确定，应考虑运输及安装要求。

由于目前钢管杆多使用在城镇地区，为了少占地，一般采用无拉线单杆，并照顾美观。

**3.0.4** 当采用新的设计软件进行钢管杆设计时，为了考核其设计理论的正确性，除通过其它手段考核外，也可通过试验予以验证。

新型钢管杆，一般是指国内没有用过的型式，当缺乏运行经验时，应经过试验验证其强度、变形是否满足设计要求。

## 5 荷 载

### 5.1 一般规定

5.1.2 此条款系根据《规范》、《规程》确定的。

### 5.2 正常运行情况

5.2.1 本条款是根据《规范》、《规程》确定的。

### 5.3 断线情况

5.3.1~5.3.4 本条款是根据《规范》、《规程》确定的。

### 5.4 安装情况

5.4.1 系根据《规范》、《规程》的具体规定。

1) 除特殊需要外, 220kV 及以下电压等级线路不考虑在直线杆上锚线作业。

安装导、地线一般按提升重力的两倍计算, 特殊情况, 也可按 1.5 倍提升重力计算, 但需在施工说明中加以说明。

2) 以往送电线路安装导、地线时, 大都考虑临时拉线作用。根据经验, 临时拉线一般按平衡导线、地线张力 30% 考虑。但也可根据工程具体情况, 临时拉线平衡导地线张力数值不受此限。

耐张杆紧线作业时, 牵引绳对地夹角一般按不大于  $20^\circ$  考虑, 但在市区施工场地狭小地段, 可适当增大牵引绳对地夹角。

### 5.5 导线及地线风荷载的标准值

5.5.1 公式 5.5.1-1, 5.5.1-2 取自《规范》、《规程》。

表 5.5.1-1 风压不均匀系数  $\alpha$  值, 当档距小于 200m 时,  $\alpha$  宜取 1.0。

斜向风即风向与线路方向的夹角大于  $0^\circ$ ，小于  $90^\circ$  的风向，一般对无拉线单杆设计不起控制作用，故本规定未列入有关导线、地线受斜向风影响的有关风荷载分配数值。若设计荷载较大，单根钢管杆不能满足工程需要，杆身采用组合式或双杆等，有关荷载分配，可依照《规范》、《规程》及相应的《杆塔结构设计技术规定》予以确定。

对于终端杆，应复核风向与线路方向一致时，即  $0^\circ$  风向时，杆身的强度。有关导线荷载分配，张力计算可依照《规范》《规程》及工程具体情况予以确定。

## 5.6 杆身风荷载的标准值

**5.6.1** 本条款中风载体型系数  $\mu_s$ ，参考了《钢筋混凝土结构高层建筑设计及施工规范》《高耸结构设计规范》以及美国的《Guidelines for Transmission Line structural Loading》确定的，当无附件时风载体型系数  $\mu_s$  按表 5.6.1 执行。

表 5.6.1 无附件时风载体型参数

断面形状	$\mu_s$
环形及十六边形以上	0.7
十二边形	1.0
八边形及六边形	1.2
四边形	1.3

## 5.7 绝缘子串风荷载的标准值

**5.7.1** 公式 5.7.1 取自《规程》。

## 6 基本规定

### 6.1 计算的基本规定

**6.1.1-1** 表达式是根据《建筑结构设计统一标准》规定的有关原则确定的。其中的荷载效应分项系数  $\gamma_G$ 、 $\gamma_{Gi}$  和抗力分项系数  $\gamma_R$  以及组合值系数  $\psi$  等的取值不仅与原规程规定的安全度有关，而且与规定的可靠指标  $\beta$  也有关。在荷载标准已经确定的情况下，为了与原规程的安全度保持基本一致，条文中所规定的各种系数值是不能随意改变的。

关于重要性系数  $\gamma_O$ ，特别重要的钢管杆是指特别重要的跨越杆和对安全有特定要求的钢管杆。大多数钢管杆的安全等级均属于二级。

荷载标准值，虽然是指钢管杆使用期间可能出现的最大荷载平均值，但由于荷载本身具有随机性，因而使用期间的最大荷载也是随机变量，原则上应用它的统计分布来描述。但是鉴于目前的实际情况，除了风荷载有较详细的统计资料外，其它的荷载只能根据工程实践经验，通过分析判断后，规定一个公称值作为它的标准值。

构件的抗力分项系数  $\gamma_R$ ，一般是包含在构件的材料强度设计值（或者抗力设计值）之中，即材料强度设计值是由其标准值除以抗力分项系数  $\gamma_R$  后得出的。材料强度设计值  $f$  和标准值  $f_k$  一般都能在有关的国家规范中查到。

**6.1.4** 所谓二次效应是指钢管杆在水平荷载作用下，发生水平位移，垂直荷载产生附加弯矩，附加弯矩再产生水平位移。为简化计算，可把水平荷载和垂直荷载产生的杆身弯矩乘上一个 1.05~1.1 的放大系数来近似地考虑二次效应的影响。

## 6.2 结构基本规定

**6.2.1** 关于钢管杆在荷载长期效应组合作用下，杆顶最大挠度的限值，是根据目前国内已运行的钢管杆线路及部分单位钢管杆试验确定的。虽然此条款规定比较宽松，但在加工和安装过程中宜采取适当措施来减小钢管杆运行过程中的挠度。其方法一般有二种。一是加工时杆身预弯，这种方法技术工艺要求高，但效果好，故欧美等国运用较多。二是安装时预偏，这种方法施工简单，易于操作、较常采用，但加载后容易产生拱形变形。预弯或预偏的最大值不超过设计挠度值为宜，并且挠度测量宜选在无日光照射的，因为温度的不均匀变化对杆身变形影响很大。

## 7 材 料

本章主要是根据《规范》《规程》及国家现行的标准确定的，有关钢管杆常用材料性能均取自国家现行标准。

## 8 钢管构件及连接计算

8.1~8.2 均根据美国土木工程协会 (ASCE) 编制的《输电线路钢杆结构设计》即《Design of Steel Transmission Pole Structures》(以下简称美国钢杆标准)。该标准是目前国内外比较完整的一本钢杆设计专门标准,它对环形及多边形钢杆的设计提供详尽的计算公式。经过我国一些有关单位按此标准设计的圆型钢杆力学试验表明,此标准是安全可靠的。因此,本技术规定的钢管构件计算等效地采用此标准的计算公式,仅作了以下换算和调整:

1) 原标准的公式适用于英制单位,本规定将公式改为适用于公制单位。

2) 原标准公式的设计应力对应于钢材的屈服点,本规定遵照《规程》将设计应力对应于钢材的强度设计值。强度设计值( $f$ )和屈服点( $f_y$ )的关系如下: $f = f_y/1.087$ ,其中:1.087为钢材的抗力分项系数。

3) 公式的部分符号改为与 GBJ17—1988 一致。

例如,多边形构件压弯局部稳定的强度设计值( $f_a$ )计算公式(8.2.2-3)以 Q235 钢换算如下:

$$f = 215 \text{ N/mm}^2 \text{ (钢材强度设计值, 公制单位)}$$

$$f_y = 215 \times 1.087 = 233.71 \text{ N/mm}^2 = 33.89 \text{ 千磅/英寸}^2 \text{ (屈服点, 英制单位)}$$

按美国标准(用屈服点,英制单位):

$$\frac{W}{t} \leq \frac{215}{\sqrt{f_y}}, f_a = f_y$$

按本标准(用强度设计值,公制单位):

$$\therefore \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{f_y}} = \frac{\sqrt{215 \text{ N/mm}^2}}{\sqrt{33.89 \text{ 千磅/英寸}^2}} = 2.51874$$

$$\therefore \frac{W}{t} \leq \frac{215 \times 2.51874}{\sqrt{f}} = \frac{541.53}{\sqrt{f}}$$

统一取整数后即得：

$$\frac{W}{t} \leq \frac{545}{\sqrt{f}}, f_a = f \quad (8.2.2-3)$$

### 8.3 连接计算

**8.3.1~8.3.2** 焊缝连接及螺栓连接全部采用 GBJ17—1988 的计算公式，其中 8.3:2-3 的备注，关于法兰板底面与基础顶面之间的距离不超过 2 倍锚栓直径的要求是参照美国钢杆标准的规定。

**8.3.3** 本规定仅列出常用的有加劲肋的法兰计算公式。

对单柱钢杆，当底部采用法兰与基础连接时，通常在法兰底面与基础顶面之间留出一定间隙，以便于对钢杆倾斜度的调整，调整完毕后用细石混凝土将间隙充填，使整个法兰底面与基础顶面的细石混凝土表面均匀接触。因此，当杆子受弯时，以杆外壁接触点切线为旋转轴。如果法兰底面与基础顶面之间的间隙不填充混凝土，法兰是支承在锚栓的螺帽上，则旋转轴应设在法兰的中心。

## 9 构造要求

### 9.1 一般规定

9.1.3 套接长度是指在套接时施加一定压力条件达到的长度。不应小于外面套入段最大内径的 1.35 倍。

9.1.4 法兰板上锚栓的孔径取锚栓直径的 1.1 倍，仅适用于基础施工时，锚栓的顶部和底部均设置安装模板，可以控制锚栓间距的情况。

9.1.5 法兰板与基础顶面之间留 1.5 倍锚栓直径的空隙已能满足调节杆子倾斜度的要求，加上施工误差，一般也不会超过 2.0 倍直径。这样，锚栓计算可以忽略弯矩的影响。

### 9.2 焊缝连接

9.2.1~9.2.4 是按照 GBJ17—1988 要求编写的。

## 10 制造和安装要求

### 10.1 焊接要求

**10.1.1** 为了最大限度地利用材料的使用应力，节约原材料，降低工程造价，应尽量按照一、二级焊缝设计，但焊缝位置处于应力较低的断面上时，可按照三级焊缝设计。

**10.1.2** 环向焊缝是钢管杆结构的薄弱环节，必须加以足够的重视。

**10.1.3** 除弯矩较小，剪力很大的极特殊情况外，绝大多数断面的中性层应力较小，故纵向焊缝应尽量布置在中性层附近。

**10.1.4** 此条款参照美标中有关内容。

### 10.2 制造精度

**10.2.1** 此条款规定了加工精度的最低要求。

### 10.3 表面防腐

**10.3.1~10.3.2** 无论采用何种防腐措施，均需符合现行的国家标准。

### 10.4 运输和安装

**10.4.1~10.4.3** 此条款是为了使设计能够满足运输、安装要求而编写的。

## 11 基 础

本章只列出常用基础型式及其适用性，具体计算方法依照有关基础设计标准执行。各地可根据工程具体情况，选用安全、经济合理的基础型式。

**11.1.1** 钢套筒式基础套管上部应装有调整螺栓用以使钢管垂直定位；钢管杆与套管之间应灌满水泥砂浆，确保钢管杆与基础可靠连接。

**11.2.1** 直埋式基础地面以下杆身应涂以防腐层进行防腐，杆身底部端头应设底板以提高承载力。

钢管杆与基础连接可采用地脚螺栓型式，也可采用杯口型式。