

GANGGUAN SHI
DIANLI JI ZHAOMING GANTA
JIEGOU SHEJI SHOUCHE

沈忠侃 编著

钢管式 电力及照明杆塔 结构

设计手册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

钢管式电力及照明杆塔 结构设计手册

沈忠侃 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本手册是在总结钢管式电力及照明杆塔结构设计经验的基础上,为满足设计和制造部门快速提供市场竞标资料而编写的。全书共9章,第一章至第三章介绍和分析作用在钢管式杆塔上的各种荷载的来源、方向、大小以及它们的计算公式;第四章和第五章介绍杆塔附件(横担、法兰盘和地脚螺栓等)的结构计算;第六章和第七章介绍和分析钢管式杆塔各段弯矩、抗弯矩和综合应力的计算方法;第八章为计算方法示例,这些实例,用以全面和系统地介绍钢管式电力及照明杆塔结构设计的计算机计算方法。

本手册配套光盘提供实用计算程序,书后附有钢管式电力及照明杆塔结构设计实用计算程序的操作方法,以便读者轻松地进入 Excel 的工作簿和打开工作标签,从而方便地操作实用计算程序,计算机顺利地自动完成计算和制图工作。

本手册适于供电、送变电、电力勘测设计院和电力院校等部门的电力工程技术人员使用。钢管式电力及照明杆塔制造工厂采用本书实用程序,可大大提高杆塔结构设计的计算效率,降低劳动强度,高速度地提供市场竞标所需资料,从而提高企业的竞争能力。对于暂时没有计算机或暂时不懂计算机的电力工程技术人员,本书同样适用。

图书在版编目(CIP)数据

钢管式电力及照明杆塔结构设计手册/沈忠侃编著. 北京:
中国电力出版社, 2001
ISBN 7-5083-0556-6

I. 钢… II. 沈… III. 输配电线路-线路杆塔, 钢管式-设计-技术手册 IV. TM753-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 10826 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市地矿印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002年3月第一版 2002年3月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 369千字

印数 0001—4000册 定价 30.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

钢管工厂和电力部门多年的生产和运行实践证明，220kV 及以下送配电线路上采用锥形钢管式电力杆塔具有：结构简单，挺拔美观；强度高，耐外力冲击；分段生产，运输和安装方便；热镀锌防腐，经久耐用；占地面积小，不需像铁塔那样要占用征地等优点。1994 年 10 月原电力工业部电力建设研究所曾对无锡某工厂生产的一根总高 28.50m，梢径 270mm，根径 650mm 的正八角形杆子进行了加载试验，结论为“经各项设计荷载试验，均满足了设计强度及刚度要求。这种塔型比常用的格构式角钢铁塔具有造型美观和占地少等优点，钢管分段后在现场插接，不用电焊便于施工。建议这种塔型在高压线路进入市区或城郊区时推广使用”。因此，钢管式电力杆塔已成为送配电线路和变电所构架的新一代设备。这种杆塔，一开始就表现出了它独特的优越性，所以近年来已被道路照明、广场高杆照明、电气化铁道杆塔、风力电站杆座、雷达杆座、大型广告牌杆座以及缆车索道杆座等等非电力和道路照明行业所采用。为了适应钢管式杆塔的高速度发展，也为了满足钢管式杆塔的设计和制造部门“几分钟内即能提供钢管式杆塔市场竞标所需全套资料和图纸”的要求，从 1997 年春节开始，编著者便利用计算机，对钢管式电力及照明杆塔结构设计的计算机计算方法，编写成了这本书稿，敬献给为电力输送和道路照明建设事业辛勤劳作的同行们！

本手册是在总结了电力杆塔和高杆灯灯杆结构设计经验的基础上，编写出来的一本实用性工具书。为了达到计算机自动计算的目的，经研究并做了大量的计算工作后，决定采用 Microsoft Excel 软件的函数公式作为计算工具进行编写，故本书的功能与计算机的实用程序相仿，但写法上不同，它的文字说明的写法全部与普通工具书一样，所以它又是一本新颖的通俗性科技书籍。本手册适合电力和道路照明行业有计算机的技术人员和计算机操作人员们阅读和应用，当读者将光盘上的信息读入内存后，再按书本介绍的方法以及程序中的要求、指示和附注，键入读者需设计的杆塔的已知数据后，计算机立即自动地进行计算和制图，读者可以在屏幕上一目了然计算过程，既直观明了又易学易懂，故也可说本手册是计算机入门方面的一本特殊的参考书。本手册也适合暂时没有计算机或暂时不熟悉计算机的人们阅读和应用，只是需要另用计算器和绘图仪进行手工计算和绘图而已。

全书共 9 章，主要介绍钢管式电力及照明杆塔来自各方面的作用力，以及这些作用力在杆塔最大受力部位产生的反映杆塔强度、刚度和稳定性的各种应力的计算公式和计算机实施自动计算的方法。

本手册后附有钢管式电力及照明杆塔结构设计实用计算程序编目（见附录 E）及其操作方法。实用计算程序主要编写了 10kV 配电线路杆塔、35~220kV 送电线路杆塔以及道路低杆照明和广场高杆照明钢管灯杆结构设计的计算机实用计算过程，给出 Excel 实用程序，特别容易操作。

本手册是严格按照我国当前有关的规程、规范、规定及导则等标准进行编写的。今后本手册内容如与新颁标准有矛盾时，按新标准执行，但设计的内容、方法、计算公式和图表等均仍适用。

本手册编写过程中，参考了南京线路器材厂和无锡华德兴欣钢杆有限公司的有关资料，对于他们的大力支持在此一一表示衷心的感谢！

作者是一个老工程技术人员，长期从事送配电线路和道路照明设计现场工作，理论水平不高。书中定有不足的地方，因此，真诚地希望广大读者批评指正。

引 言

钢管式电力及照明杆塔的结构设计，主要是分析研究从而确定由杆塔本身、线路附件或照明灯具、灯臂及灯盘产生的、由它们周围环境影响造成的作用于杆塔上的各种荷载，然后根据这些荷载，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用可靠度指标度量可靠度。在规定的各种荷载的组合作用下或变形限值条件下，满足线路安全运行的临界状态。这里的临界状态，它指的是既受压又受弯的钢管式电力及照明杆塔的承载能力极限状态和正常使用极限状态。DL/T 5130—2001《架空送电线路钢管杆设计技术规定》规定：钢管杆的强度、稳定和连接强度，应按承载能力极限状态的要求，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，从而提供制造杆塔所需的最可靠的结构形式和最经济的结构尺寸。

钢管式杆塔结构设计的荷载计算，DL/T 5130—2001 规定有正常运行情况、事故断线情况和线路安装情况等三个方面，每个方面又需计算多种荷载组合，而且这些计算方法的基础又都是凭经验先假定一个数值，然后用其计算结果与所用材料的强度设计值作比较，这样反复多次，直到满足线路安全运行的临界状态为止。由此可见，这些计算的工作量是很大的，而且还很复杂和琐碎，人工计算费时费工，还极易出差错。为了提高计算速度和精确程度，可以用计算机代替人工进行这些计算工作。本文将介绍的是如何利用计算机的计算功能进行钢管式电力及照明杆塔结构设计的计算工作。

作用在电力及照明杆塔上的荷载按其性质可分为永久荷载、可变荷载和特殊荷载三大类。永久荷载对电力杆塔而言指的是杆塔自重，电线、绝缘子和金具的重量以及横担等其他固定设备的重量；对照明杆塔而言，除杆塔自重外，指的是灯盘、灯盘升降设备、灯臂、灯具和电光源及其附件的重量；可变荷载指的是风荷载、电线和绝缘子或灯臂上的覆冰荷载、电线拉力荷载、施工牵引荷载以及检修时的临时荷载（活动荷载）；特殊荷载指的是由于线路事故引起的断线荷载，由于地震引起的地震荷载以及在山区或特殊地形、地段由于不均匀结冰所引起的不平衡张力等荷载。上述作用在电力及照明杆塔上的所有荷载，都可分别地根据各自的计算需要和具体情况，将它们分解成水平横向、水平纵向和垂直三种荷载，并用相应的计算公式将它们用计算机计算出来。

目录

前言 引言

| | |
|--|----|
| 第一章 钢管式电力及照明杆塔的水平横向风荷载 | 1 |
| 第一节 正向风时导、地线水平横向风荷载的计算 | 1 |
| 第二节 正向风时绝缘子串、灯臂及灯具水平横向风荷载的计算 | 3 |
| 第三节 正向风时杆塔及高杆灯灯盘水平横向风荷载的计算 | 4 |
| 第四节 斜向风时水平横向风压荷载的计算 | 5 |
| 第二章 钢管式电力杆塔的水平纵向拉力荷载 | 6 |
| 第一节 导、地线允许最大拉力的计算 | 6 |
| 第二节 转角杆导、地线角度荷载的计算 | 7 |
| 第三节 耐张及大跨越杆导、地线不平衡张力的计算 | 8 |
| 第四节 分歧杆导、地线水平拉力荷载的计算 | 10 |
| 第五节 终端杆导、地线水平纵向拉力荷载的计算 | 11 |
| 第六节 杆塔安装时导、地线水平拉力荷载的计算 | 11 |
| 第三章 钢管式电力及照明杆塔的垂直荷载 | 13 |
| 第一节 导、地线及其附件以及灯臂灯具垂直荷载的计算 | 13 |
| 第二节 钢管式杆塔本体垂直荷重（自重）的计算 | 15 |
| 第三节 钢管式杆塔最大垂直荷载的计算 | 18 |
| 第四节 高杆灯灯盘垂直荷载的计算 | 20 |
| 第四章 钢管式电力及照明杆塔的法兰盘及其附件 | 23 |
| 第一节 地脚螺栓的结构计算 | 23 |
| 第二节 法兰盘底板的结构计算 | 26 |
| 第三节 法兰盘加强肋的结构计算 | 27 |
| 第五章 钢管式电力及照明杆塔的压缩变形和纵弯曲计算 | 29 |
| 第一节 钢管式杆塔的压缩变形和强度计算 | 29 |
| 第二节 钢管式杆塔的纵弯曲计算 | 29 |
| 第三节 钢管式杆塔的稳定性的校验 | 32 |

| | |
|--|-----|
| 第六章 钢管式电力及照明杆塔的弯曲强度和挠度计算 | 35 |
| 第一节 受弯构件截面形状及其相关参数的计算 | 35 |
| 第二节 钢管式杆塔的弯曲强度和挠度计算 | 38 |
| 第三节 照明杆塔灯臂的弯曲强度和截面选择 | 42 |
| 第四节 电力杆塔横担的弯曲强度和截面选择 | 42 |
| 第七章 钢管式电力及照明杆塔复合受力及复合受力强度计算 | 51 |
| 第一节 电力杆塔受力概况 | 51 |
| 第二节 杆塔复合受力强度计算前的准备工作 | 54 |
| 第三节 钢管式杆塔最大受力部位弯矩和扭矩的计算 | 60 |
| 第四节 钢管式杆塔最大受力部位抗弯矩的计算 | 63 |
| 第五节 钢管式杆塔最大受力部位截面积的计算 | 64 |
| 第六节 钢管式杆塔最大受力部位复合受力强度的计算 | 65 |
| 第八章 钢管式电力及照明杆塔结构设计的计算机计算方法示例 | 68 |
| 第一节 直线杆塔(带配电共杆线路)结构设计的计算机计算方法 | 68 |
| 第二节 小角度转角杆塔结构设计的计算机计算方法 | 75 |
| 第三节 大角度转角(带配电共杆线路)杆塔结构设计的计算机计算方法 | 83 |
| 第四节 一般耐张杆塔结构设计的计算机计算方法 | 91 |
| 第五节 有角度荷载耐张杆塔结构设计的计算机计算方法 | 99 |
| 第六节 有不平衡张力耐张杆塔结构设计的计算机计算方法 | 105 |
| 第七节 直线型分歧杆塔结构设计的计算机计算方法 | 113 |
| 第八节 终端型杆塔结构设计的计算机计算方法 | 121 |
| 第九节 焊接整根型高杆灯结构设计的计算机计算方法 | 128 |
| 第十节 套接分段型高杆灯结构设计的计算机计算方法 | 132 |
| 第九章 钢管式电力及照明杆塔结构设计实用计算程序的操作方法 | 139 |
| 第一节 一般性操作 | 139 |
| 第二节 实用程序操作方法 | 150 |
| 附录 A 法兰盘的结构设计及其选用 | 176 |
| 附录 B 钢芯铝绞线明细规格 | 179 |
| 附录 C 铝绞线、合金铝绞线和钢芯铝绞线明细规格及导、地线的配合 | 180 |
| 附录 D 计算机实用计算各项明细系数 | 182 |
| 附录 E 钢管式电力及照明杆塔结构设计实用计算程序编目 | 194 |
| 附录 F DL/T 5130—2001 架空送电线路钢管杆设计技术规定 | 206 |



第一章

钢管式电力及照明杆塔的水平横向风荷载



杆塔的水平横向风荷载有正向风荷载和斜向风荷载之分。正向风是指风的方向与线路或灯臂灯具的方向相垂直的风，它对线路或灯臂灯具具有最大的作用力，是最不利的风向，杆塔结构设计中一般都按这个方向计算；斜向风指的是风的方向与线路或灯臂灯具的方向有一定夹角时的风，杆塔结构计算中一般不考虑，只有在电力杆的大角度转角杆型和大跨越杆型的杆塔中，才适当予以考虑。

第一节 正向风时导、地线水平横向风荷载的计算

1. 计算公式

(1) 杆塔两端档距和导、地线直径相等时，直线杆风荷载的计算

$$W_x = \mu_{sc} \cdot \mu_z \cdot L_p \cdot n \cdot d / 1000 \cdot \alpha \cdot g \cdot V^2 / 16 \quad \text{N} \quad (1-1)$$

式中 W_x ——正向风时导、地线的风荷载，N；

μ_{sc} ——导、地线的风荷载体形系数，按直径大小查表 1-1；

μ_z ——风压高度变化系数，查表 1-2；

L_p ——线路水平档距，m，一般由客户提供；

n ——每相导、地线的根数；

d ——导、地线或灯臂直径，mm，查表 2-1，覆冰时取平均外径，冰厚考虑，5mm 和 10mm 两种，查表 3-1；

α ——风速不均匀系数，查表 1-3；

g ——重力加速度，其值一般取 9.8066m/s^2 ；

V ——风速，一般由客户提供，或根据线路所在地典型气象区中的相应风速，m/s。

(2) 杆塔两端档距和导、地线直径不等时，大跨越或耐张杆等的计算

$$W_x = \mu_{sc} \cdot \mu_z \cdot \alpha \cdot n (L_{p1} / 2 \cdot d_1 / 1000 + L_{p2} / 2 \cdot d_2 / 1000) \cdot g \cdot V^2 / 16 \quad \text{N} \quad (1-2)$$

式中 L_{p1} ——杆塔前档线路水平档距，m；

L_{p2} ——杆塔后档线路水平档距，m；

d_1 ——杆塔前档导、地线直径，mm，查表 2-1，覆冰时取平均外径，查表 3-1；

d_2 ——杆塔后档导、地线直径，mm，查表 2-1，覆冰时取平均外径，查表 3-1。

(3) 终端杆的计算

$$W_x = \mu_{sc} \cdot \mu_z \cdot L_p / 2 \cdot n \cdot d / 1000 \cdot \alpha \cdot g \cdot V^2 / 16 \quad \text{kg} \quad (1-3)$$

表 1-1 导、地线风荷载体形系数

| 导、地线的直径 d (mm) | μ_{sc} |
|------------------|------------|
| $d < 17$ | 1.2 |
| $d \geq 17$ | 1.1 |
| 覆冰时 | 1.2 |

注 覆冰时 d 的大小不计。

为简化计算，在实现计算机自动计算时，可统一用式 (1-2) 进行。

2. 利用 Excel 软件的常用函数进行钢管式电力及照明杆塔结构设计的计算方法

(1) 将准备计算用的单元格击活。

(2) 执行下拉菜单行中的“格式”下拉菜单，使其出现“单元格”命令。然后单击该命令使其弹出“单元格格式”对话框，再按框中的“常规”或“数字”标签，选定其中之一，然后单击“确定”。

(3) 执行下拉菜单行中的“工具”下拉菜单，使其出现“选项”命令，然后单击该命令使其弹出“选项”对话框，再按框中的“重新计算”标签，选定“自动重算”，单击“确定”。

(4) 在已击活的单元格内，将 μ_{sc} 、 μ_z 、 L_p 、 L_{p1} 、 L_{p2} 、 d 、 d_1 、 d_2 、 α 、 g 和 V 等数据连同运算符号，按照软件的语法要求一一代入式 (1-1) 或式 (1-2)。此时若将光标移开，则该算式以文本形式显示，单元格不会作计算；此时若在公式前顶端加上一个“=”号，再把光标键到尾部后移开，则该算式以“常规”或“数值”形式运行，则计算机会自动进行计算，并瞬间获得结果。

(5) 要还原成文本显示（算式）时，可简便地将计算行单元格单击成活动格，再双击并将“=”删除即得。

3. 计算示例

(1) 式 (1-1) 的计算示例一：某杆塔的导线为 LGJ-185，安装高度为 26.20m，水平档距为 200m，风速为 25m/s，试用计算机计算该导线的风荷载

$$W_x = 1.1 * 1.18 * 200 * 19/1000 * 0.85 * 9.8066 * 25^2/16 = 1606.02N$$

(2) 式 (1-1) 的计算示例二：某杆塔的地线为 GJ-70，其安装高度为 50m，水平档距为 380m，风速为 35m/s，试用计算机计算该根地线的风荷载

$$W_x = 1.2 * 1.42 * 380 * 10.5/1000 * 0.7 * 9.8066 * 35^2/16 = 3573.32N$$

(3) 式 (1-1) 的计算示例三：某路灯的长灯臂长 3m，短灯臂长 2m，灯臂直径均为 60mm，它们的安装高度为 12m，风速为 30m/s，试用计算机计算此两根灯臂的总风荷载。

$$W_x = 1.1 * 1 * (3 + 2) * 60/1000 * 0.85 * 9.8066 * 30^2/16 = 154.75$$

表 1-2 风压高度变化系数 μ_z 值

| 离地面高度 (m) | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| μ_z | 0.88 | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 1.37 | 1.47 | 1.56 |

表 1-3 风速不均匀系数 α 值

| 计算风速 (m/s) | α |
|------------|----------|
| <20 | 1.00 |
| 20~30 | 0.85 |
| 30~35 | 0.75 |
| ≥35 | 0.70 |

- 注 1. 塔位于陡壁、海岸或湖边时，计算高度应自谷底、水面算起；
 2. 任意高度的 μ_z 值，可以用内插法计算出其数值，也可查“附录 D 的 μ_z 值明细速查表；
 3. 导线高度取平均值，但习惯上用悬挂点高度查 μ_z 值。

(4) 式 (1-2) 的计算示例：某杆塔的前后两个档距及导线直径都不同，导线安装高度 30m，杆塔前端的水平档距为 200m，LGJ-185 导线；杆塔后端的水平档距为 400m，LGJ-300 导线；风速为 30m/s，试用计算机计算此两档导线在该杆塔上产生的风荷载。

$$W_x = 1.1 * 1.23 * 0.75 * (200/2 * 19/1000 + 400/2 * 25.2/1000) * 9.8066 * 30^2/16 = 3884.69N$$

第二节 正向风时绝缘子串、灯臂及灯具水平横向风荷载的计算

1. 计算公式

计算公式为
$$W_1 = N_1 \cdot N_2 \cdot A_1 \cdot \mu_z \cdot g \cdot V^2 / 16 \quad \text{N} \quad (1-4)$$

式中 W_1 ——绝缘子串、灯臂及灯具的风荷载，N；

N_1 ——每相导线的绝缘子串数，与导线型号及其瞬时拉断力有关，查表 1-4，计算灯臂及灯具时为 1；

N_2 ——每串绝缘子的计算用片数，其金具以加一片绝缘子计算，查表 1-5，计算灯臂及灯具时为 1；

A_1 ——每片绝缘子的受风面积，单裙为 0.03m^2 ；双裙为 0.04m^2 ，灯具查附录 D 的表 D21，灯臂可计算；

μ_z ——风压高度变化系数，查表 1-2；

V ——风速，一般由客户提供，或根据线路所在地典型气象区中之相应风速，m/s。

2. 计算示例

(1) 某 110kV 送电线路的直线杆，导线的安装高度为 26.20m，单串单裙绝缘子，风速为 25m/s，试用计算机计算此绝缘子串的风荷载。

$$W_1 = 1 * 7 * 0.03 * 1.18 * 9.8066 * 25^2 / 16 = 94.93\text{N}$$

(2) 某 220kV 输电线路的直线杆，导线的安装高度为 50m，双串悬垂 X-4.5 型绝缘子，风速为 35m/s，试计算此绝缘子串的风荷载。

$$W_1 = 2 * 14 * 0.03 * 1.42 * 9.8066 * 35^2 / 16 = 895.54\text{N}$$

表 1-4 绝缘子串串数 N_1 值

| 导线标称截面 (mm^2) | 导线瞬时拉断力(N) | | | | 配合绝缘子及其串数 | | |
|--------------------------|------------|--------|--------|--------|---------------------------------|----------------|---------------|
| | LJ | LGJQ | LGJ | LGJJ | 绝缘子型号 | 允许荷重(N) | 串数 N_1 |
| 70 | 10950 | — | 23390 | — | X-4.5, X-4.5c | 22072 | 单串 |
| 95 | 14450 | — | 35000 | — | | | |
| 120 | 19420 | — | 41000 | 43360 | | | |
| 150 | 23310 | 43949 | 46630 | 54936 | X-4.5, X-4.5c | 44145 | 双串 |
| 185 | 28440 | 53759 | 59420 | 69357 | | | |
| 240 | 36260 | 72790 | 83370 | 90448 | | | |
| 300 | 46850 | 86917 | 103400 | 112226 | X-4.5, X-4.5c 或 X-7, X-11 | 64452 68670 | 三串 或 两串 |
| 400 | 61150 | 108106 | 123400 | 149995 | | | |
| 500 | 76370 | 143560 | 128100 | — | | | |
| 630 | 91940 | 172264 | 164400 | — | | | |
| 800 | 115900 | 213269 | 207000 | — | | | |

表 1-5

绝缘子串片数 N_2 值

| 电压 (kV) | 每串片数 N | | N_2 | | 电压 (kV) | 每串片数 N | | N_2 | |
|------------|--------|--------|-------|--------|------------|--------|--------|-------|--------|
| | 直线 | 耐张, 转角 | 直线 | 耐张, 转角 | | 直线 | 耐张, 转角 | 直线 | 耐张, 转角 |
| 10 | 2 | 3 | 3 | 4 | 154 | 10 | 11 | 11 | 12 |
| 35 | 3 | 4 | 4 | 5 | 220 | 13 | 14 | 14 | 15 |
| 66 | 5 | 6 | 6 | 7 | 330 | 18 | 19 | 19 | 20 |
| 110 | 7 | 8 | 8 | 9 | 500 | 28 | 29 | 29 | 30 |

注 1. 线路经过污秽地区时应加 1~2 片绝缘子;
2. 线路海拔高程 1000m 以上时, 每升高 700m 加一片绝缘子。

第三节 正向风时杆塔及高杆灯灯盘水平横向风荷载的计算

1. 计算公式

(1) 杆塔及灯盘水平横向风荷载 W_s 的计算

$$W_s = \beta_z \cdot \mu_s \cdot \mu_z \cdot A_g \cdot g \cdot V^2 / 16 \quad \text{N} \quad (1-5)$$

式中 μ_s ——杆塔或灯盘的风荷载体形系数, 查表 1-6;

β_z ——杆身风荷载的调整系数, 又称风振系数, 查表 1-7;

g ——重力加速度, 等于 9.8066m/s^2 ;

V ——风速, 客户提供, 或查气象区中相应风速, m/s ;

μ_z ——风压高度变化系数, 查表 1-2;

A_g ——杆塔或灯盘受风面积, m^2 , 正多边形及圆形拔梢杆。

$$A_g = [(d+D) / 2] \cdot h_{gf} \quad \text{m}^2$$

(2) 杆塔风荷作用点高度 H_{gf} 的计算

$$H_{gf} = h_{gf} / 3 \cdot (2d + D) / (d + D) \quad \text{m} \quad (1-6)$$

式中 d ——杆塔上端直径, m ;

D ——杆塔下端直径, m ;

h_{gf} ——杆塔计算段高度, m 。

式 (1-6) 中: ①多边形杆塔直径指“边-边”距离; ②灯盘作用点高度可按最大情况取安装后的盘顶高度。

表 1-6

杆塔风荷载体形系数 μ_s 值

| 截面形状 | μ_s | 截面形状 | μ_s | 截面形状 | μ_s |
|------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 矩 形 | 1.6 | 正十二边形 | 1.1 | 正二十边形 | 0.9 |
| 正四边形 | 1.6 | 正十四边形 | 1.1 | 圆 形 | 0.9 |
| 正六边形 | 1.2 | 正十六边形 | 0.9 | | |
| 正八边形 | 1.2 | 正十八边形 | 0.9 | | |

注 1. 拔梢杆与等径杆的 μ_s 值相同, 表列 μ_s 值中已包括杆身附件的影响;
2. 高杆灯灯盘按其外形套用本表。

表 1-7

杆塔风荷载调整系数 β_z 值

| 杆塔全高 (m) | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|-------------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 66kV 及以下 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.35 | 1.50 |
| 110kV~220kV | 1.00 | 1.125 | 1.25 | 1.30 | 1.35 | 1.425 | 1.50 | 1.55 | 1.60 |

注 中间值按插入法计算，或查附录 D 的表 D3 所列 β_z 的明细值。

2. 计算示例

某大转盘一高杆灯的杆子，三段构成，套接后的总高度为 30m，截面为十二边形，梢径为 $\phi 260\text{mm}$ ，根径为 $\phi 650\text{mm}$ ，风速为 35m/s，试用计算机计算此杆子的风荷载及其作用点高度。

(1) 杆塔受风面积应首先计算，用公式 (1-5) 进行

$$A_g = (260/1000 + 650/1000)/2 * 30 = 13.65\text{m}^2$$

(2) 杆塔水平横向风荷载用公式 (1-4) 进行计算

$$W_s = 1.30 * 0.7 * 1.23 * 13.65 * 9.8066 * 35^2/16 = 10588.92\text{N}$$

(3) 杆塔风荷载作用点高度用公式 (1-6) 进行计算

$$H_{gf} = 30/3 * (2 * 260 + 650)/(260 + 650) = 12.86\text{m}$$

第四节 斜向风时水平横向风压荷载的计算

在电力及照明杆塔的结构设计中，应取最不利的风向来计算杆塔的内力，一般考虑风向与线路风向相垂直、平行、成 45° 夹角及成 60° 夹角等。此时电线风荷载及塔身风荷载应按以下规定计算：

1. 电线斜向风荷载

当风向与电线风向之间夹角为 θ 时，垂直于电线方向的风荷载 W_θ 可近似地按式(1-7)进行计算

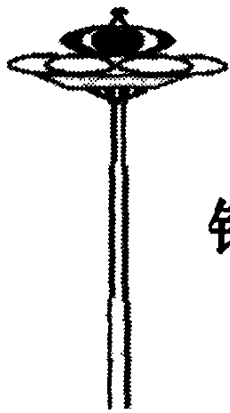
$$W_\theta = W_x \cdot \text{SIN}^2\theta \quad (1-7)$$

式中 W_x ——风向与导、地线垂直时的电线风荷载，N。

2. 杆塔斜向风荷载

由于钢管式电力及照明杆塔是正多边形或圆形结构，任何方向的风荷载对杆塔只是其作用力的方向不同，其风荷载值是相等的，即

$$W_\theta = W_x \quad \text{N} \quad (1-8)$$



第二章

钢管式电力杆塔的水平纵向拉力荷载



第一节 导、地线允许最大拉力的计算

1. 计算公式

$$T_d = T/K \quad \text{N} \quad (2-1)$$

中 T_d ——导、地线允许最大拉力, N;

T ——导、地线瞬时拉断力, 又称计算拉断力, N, 查表 2-1 或附录 D 表 D1 明细表;

K ——安全系数, 一般由客户提供。

2. 计算示例

表 2-1 常用导、地线的有关技术数据

| 导线型号 | 截面积 (mm ²) | 直径 (mm) | 质量 (kg/m) | 瞬时破 断力 (N) | 导线型号 | 截面积 (mm ²) | 直径 (mm) | 质量 (kg/m) | 瞬时破 断力 (N) |
|---------|---------------------------|------------|--------------|------------------|----------|---------------------------|------------|--------------|------------------|
| LGJ-70 | 79.30 | 11.40 | 0.275 | 23390 | LGJQ-700 | 805.30 | 37.10 | 2.756 | 213269 |
| LGJ-95 | 113.00 | 13.70 | 0.404 | 35000 | LGJJ-120 | 142.60 | 15.50 | 0.530 | 43360 |
| LGJ-120 | 137.00 | 15.20 | 0.492 | 41000 | LGJJ-150 | 181.40 | 17.50 | 0.678 | 55132 |
| LGJ-150 | 174.60 | 17.00 | 0.617 | 54110 | LGJJ-185 | 228.10 | 19.60 | 0.850 | 69356 |
| LGJ-185 | 215.40 | 19.00 | 0.771 | 64320 | LGJJ-240 | 297.30 | 22.40 | 1.111 | 90448 |
| LGJ-240 | 281.10 | 21.60 | 0.997 | 83370 | LGJJ-300 | 369.20 | 25.20 | 1.390 | 112226 |
| LGJ-300 | 377.20 | 24.20 | 1.257 | 92220 | LGJJ-400 | 493.30 | 29.00 | 1.840 | 149995 |
| LGJ-400 | 455.00 | 28.00 | 1.460 | 128315 | GJ-25 | 26.60 | 6.60 | 0.210 | 31314 |
| GJQ-150 | 165.80 | 16.60 | 0.559 | 43948 | GJ-35 | 37.20 | 7.80 | 0.300 | 43792 |
| GJQ-185 | 203.00 | 18.40 | 0.687 | 53758 | GJ-50 | 49.50 | 9.00 | 0.400 | 58271 |
| GJQ-240 | 274.70 | 21.60 | 0.937 | 72790 | GJ-70 | 67.30 | 10.50 | 0.580 | 79226 |
| GJQ-300 | 328.20 | 23.50 | 1.098 | 86916 | GJ-100 | 100.80 | 13.00 | 0.860 | 118662 |
| GJQ-400 | 441.50 | 27.20 | 1.501 | 116935 | GJ-120 | 116.85 | 14.00 | 0.995 | 138321 |
| GJQ-500 | 541.70 | 30.20 | 1.836 | 143520 | GJ-135 | 134.33 | 15.00 | 1.144 | 158922 |
| GJQ-600 | 650.20 | 33.10 | 2.206 | 172263 | GJ-150 | 148.07 | 15.80 | 1.324 | 180112 |

注 1. 覆冰时导、地线的外径等于其直径加两倍所结冰的平均厚度 b , 一般考虑 $b=5\text{mm}$ 和 $b=10\text{mm}$ 两种情况, 其单位重量见表 3-1。

2. 本表所列数据仅供阅读本书和做例题时参考, 实际计算时请查“附录 D”的表 D1。

如 LGJ-185 型导线的 T 为 61262N, 试求其安全系数 $K=8$ 和 $K=6$ 时的 T_d 值。

(1) $K=8$ 时: $T_d = \text{ROUND}(61262/8, 2) = 7657.75\text{N};$

(2) $K=6$ 时: $T_d = \text{ROUND}(61262/6, 2) = 10210.33\text{N}$ 。

第二节 转角杆导、地线角度荷载的计算

线路在转角时，相邻两档导、地线对杆塔产生一个水平纵向拉力，此拉力的横向分量作用于杆塔上，一般称此分量为电线角度荷载。电线的角度荷载，随线路两侧电线的直径及转角角度值的不同而不同，见图 2-1 电线角度荷载计算示意图。由图 2-1 可知有四种情况，其计算方法分别介绍如下：

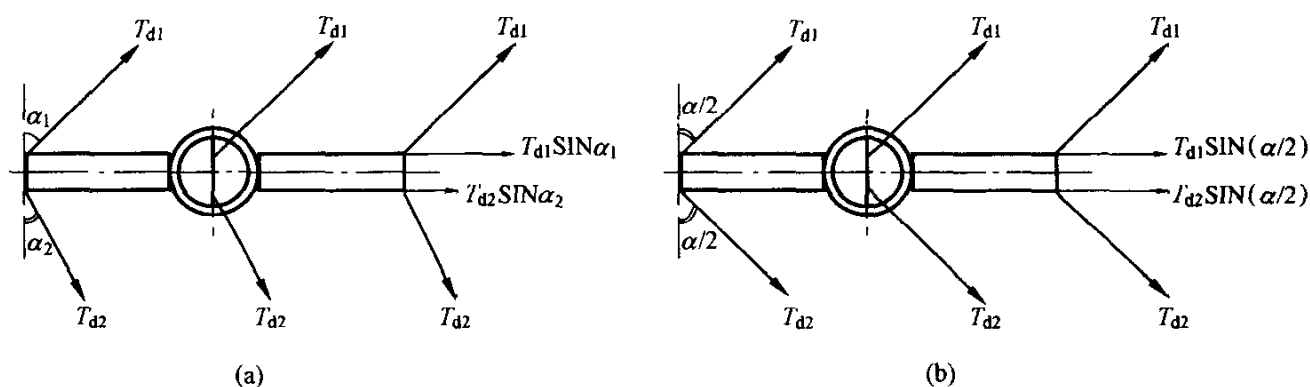


图 2-1 电线角度荷载计算示意图

(a) 杆塔两侧线路转角不同的情况 ($\alpha_1 \neq \alpha_2$); (b) 杆塔两侧线路转角相同的情况 ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha/2$)

(1) 杆塔前后两档导、地线直径不相同，转角角度也不相同时 [图 2-1 (a)]

$$P_{dj} = T_{d1} \cdot \sin \alpha_1 + T_{d2} \cdot \sin \alpha_2 \quad \text{N} \quad (2-2)$$

(2) 杆塔前后两档导、地线直径不相同，但转角角度相同时 [图 2-1 (a)、(b)]

$$P_{dj} = (T_{d1} + T_{d2}) \cdot \sin(\alpha/2) \quad \text{N} \quad (2-3)$$

(3) 杆塔前后两档导、地线直径相同，转角角度不相同时 [图 2-1 (a)、(b)]

$$P_{dj} = T_d (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) \quad \text{N} \quad (2-4)$$

(4) 杆塔前后两档导、地线直径相同，转角角度也相同时 [图 2-1 (b)]

$$P_{dj} = 2T_d \cdot \sin(\alpha/2) \quad \text{N} \quad (2-5)$$

式中 P_{dj} ——转角杆导、地线水平纵向拉力的横向分力 (电线角度荷载), kg;

T_{d1} ——前档导、地线的允许最大拉力, N, 式 (2-1) 计算值;

T_{d2} ——后档导、地线的允许最大拉力, N, 式 (2-1) 计算值;

α_1 ——杆塔前侧线路转角 (电线与横担垂线之间的夹角), °;

α_2 ——杆塔后侧线路转角 (电线与横担垂线之间的夹角), °;

T_d ——导、地线允许最大拉力, N;

α ——线路呼称转角 (前后两档电线与横担垂线之间夹角之和), °。

附注: ① 按照 Excel 软件语法的要求, 在计算以角度为度数的 α 角的三角函数时, α 角应写为 “ $(\alpha * \text{PI}()) / 180$ ”; ② ROUND 为小数取位函数。

(5) 计算示例:

1) 某 110kV 送电线路的一基转角杆, 前档导线的转角角度为 45° , 导线型号为 LGJ-300, 其 T_d 为 12047N, 后档导线的转角角度为 40° , 导线型号为 LGJ-240, 其 $T_d = 9993\text{N}$, 试用计算机按式 (2-2) 计算该导线的角度荷载

$$P_{dj} = 12047 * \text{SIN} (45 * \text{PI} () / 180) + 9993 * \text{SIN} (40 * \text{PI} () / 180) / 1000 = 14.94\text{kN}$$

2) 某 220kV 送电线路的一基转角杆，转角角度为 60° ，前档导线型号为 LGJ-185， $T_d = 7658\text{N}$ ，后档导线的型号为 LGJ-300，其 T_d 为 12047，试用计算机按式 (2-3) 计算导线的角度荷载

$$P_{dj} = (7658 + 12047) * \text{SIN} (60/2 * \text{PI} () / 180) / 1000 = 9.85\text{kN}$$

3) 某 110kV 送电线路的一基转角杆塔，导线型号为 LGJ-400， $T_d = 15127\text{N}$ ，其前档导线的转角角度为 40° ，后档导线的转角角度为 20° ，试用计算机按公式 (2-4) 计算导线的角度荷载

$$P_{dj} = 15127 * (\text{SIN} (40 * \text{PI} () / 180) + \text{SIN} (20 * \text{PI} () / 180)) / 1000 = 14.90\text{kN}$$

4) 某 220kV 送电线路的一基转角杆，转角角度为 70° ，导线型号为 LGJ-300，其 $T_d = 12047$ ，试用计算机按公式 (2-5) 计算导线的角度荷载

$$P_{dj} = 2 * 12047 * \text{SIN} (70/2 * \text{PI} () / 180) / 1000 = 13.82\text{kN}$$

第三节 耐张及大跨越杆导、地线不平衡张力的计算

耐张杆及大跨越杆导、地线的不平衡张力，是垂直于该杆塔的一个水平纵向拉力荷载，也是该杆塔的一个主要作用力。此力随杆塔前后两档线路上的导、地线的型号，规格是否相同和线路有没有转角等情况有关。线路无转角时，如直线杆和一般耐张杆，因其前后两档内的电线张力相等，故没有不平衡张力，参见图 2-2 电线不平衡张力计算示意图。由此，耐张杆及大跨越杆的电线不平衡张力综合起来有如下 3 种情况 5 种计算方法，分别介绍如下。

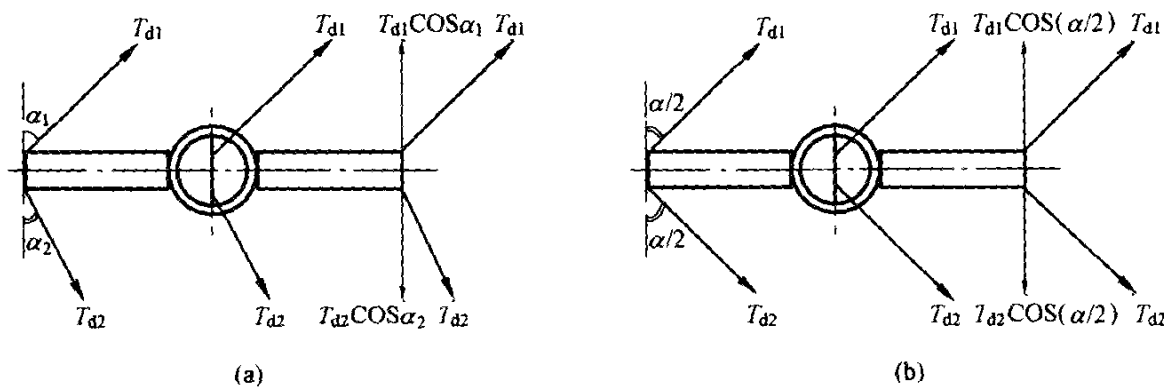


图 2-2 电线不平衡张力计算示意图

(a) 杆塔两侧线路转角不同的情况 ($\alpha_1 \neq \alpha_2$);

(b) 杆塔两侧线路转角相同的情况 ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha/2$)

(1) 前后两档导、地线的型号和规格相同时:

无论线路有无转角角度，导、地线纵向拉力合成荷载均为零，

(2) 前后两档导、地线的型号和规格不相同 (图 2-2)，正常情况下它有两种计算方法:

1) 杆塔两侧线路转角角度不相等时 [图 2-2 (a)]，正常情况下导、地线不平衡张力 (即水平纵向拉力荷载，其方向与风荷载相垂直) P_{dN} 的计算公式如下

$$P_{dN} = T_{d1} \cdot \text{COS}\alpha_1 - T_{d2} \cdot \text{COS}\alpha_2 \quad \text{N} \quad (2-6)$$

式中 T_{d1} ——前档导、地线的允许最大拉力，N，式 (2-1) 计算值;

T_{d2} ——后档导、地线的允许最大拉力, N, 式 (2-1) 计算值;

α_1 ——杆塔前侧线路转角 (电线与横担垂线之间的夹角), °;

α_2 ——杆塔后侧线路转角 (电线与横担垂线之间的夹角), °。

2) 杆塔两侧线路转角角度相等时 [图 2-2 (b)], 正常情况下导、地线不平衡张力 (即水平纵向拉力荷载, 其方向与风荷载相垂直) P_{dN} 的计算公式如下

$$P_{dN} = (T_{d1} - T_{d2}) \cdot \cos \alpha / 2 \quad \text{N} \quad (2-7)$$

式中 α ——线路呼称转角 (电线与横担垂线之间的夹角之和), °。

(3) 电力杆塔由断线造成的不平衡张力 (即纵向拉力荷载, 简称断线张力其方向与风荷载相垂直), DL/T 5130—2001 《架空送电线路钢管杆设计技术规定》规定, 直线杆、耐张杆和转角杆, 均需计算断线情况下杆塔的强度和稳定。这种计算过去十分繁复, 现已简化为导、地线的最大使用张力乘以一个系数 ζ 即成, 即电力杆塔的断线张力 W_{dN} 可由下式算出

$$P_{dN} = \zeta T_d \quad \text{N} \quad (2-8)$$

式中 T_d ——导、地线的允许最大使用张力, 式 (2-1) 的计算值, N;

ζ ——电力杆塔的断线张力系数, 其值按杆塔的结构和类型以及电线类别和型号等确定。

对于 ζ 值, DL/T 5130—2001 有详细规定, 它们是:

(一) 直线杆的断线 (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) 单回路和双回路杆塔单导线时, 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 2-2 选用。

(2) 多回路杆单导线时, 断任意两根导线; 分裂导线时任意两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. 断地线情况

不论带有多少回路的杆塔, 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。

(二) 耐张杆和转角杆的断线情况:

1. 66kV 及以下杆塔

(1) 单回路杆塔考虑同档内断任意两相导线; 双回路及多回路杆塔考虑同档断导线的数量为杆塔上全部导线量的 1/3, 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 杆塔

(1) 无论单、双和多回路, 均考虑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%。

(三) 重冰区各类杆塔的断线 (或纵向不平衡张力) 情况, 按下列原则考虑:

表 2-2 单导线断线张力与最大使用张力的百分比

| 标称导线截面 | 单导线断线张力与最大使用张力的百分比 % |
|------------------------|----------------------|
| 95mm ² 及以上 | 30 |
| 120~185mm ² | 35 |
| 210mm ² 及以上 | 40 |

两分裂导线的纵向不平衡张力, 应取一根导线最大使用张力的 40%

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 15%, 且均不应小于 20kN