

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



SHUDIAN GANTA
JI JICHU SHEJI

输电杆塔 及基础设计

陈祥和 刘在国 肖琦 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



SHUDIAN GANTA
JI JICHU SHEJI

输电杆塔 及基础设计

主编 陈祥和 刘在国 肖琦
编写 杜轩 罗玉鹤
主审 张忠亭



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分十二章，主要内容包括绪论、杆塔荷载的分析计算、杆塔外形尺寸的确定、环形截面钢筋混凝土构件的强度计算、环形截面钢筋混凝土电杆、铁塔材料及其构件的计算、铁塔的型式及结构布置、铁塔的内力计算、铁塔的稳定计算、钢管杆的计算、杆塔基础设计、杆塔其他部件的计算以及附表。本书内容理论性强，编者在多年的教学中，不断征求相关工程单位的意见，注重理论联系实际，把重点放在基本概念、基本原理、基本方法上，尽量避免复杂的理论分析。书中各章后均附有思考题和习题，以加深巩固学习过程中掌握的基本概念和计算方法。

本书主要作为高等院校输电线路工程专业的教学用书，也可作为电力工程相关专业技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

输电杆塔及基础设计/陈祥和，刘在国，肖琦主编．

北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-7026-2

I. 输… II. ①陈…②刘…③肖… III. 输电线路—
线路杆塔—设计—高等学校—教材 IV. TM753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 053110 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 5 月第一版 2008 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 366 千字

定价 24.60 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书除了介绍钢筋混凝土电杆、铁塔基本计算理论外,着重阐述了钢筋混凝土电杆、铁塔及其基础的构造特点和受力分析方法,对常用的杆塔和基础设计计算做了详细介绍。

本书内容理论性强,编者在多年的教学中,不断征求相关工程单位的意见,注重理论联系实际,把重点放在基本概念、基本原理、基本方法上,尽量避开复杂的理论分析。书中各章附有思考题和习题,以加深巩固学习过程中掌握的基本概念和计算方法。

本书编写时依据我国现行的 DL/T 5154—2002《架空送电线路杆塔结构设计技术规范》、DL/T 5154—2002《110kV~500kV 架空送电线路设计技术规程》、DL/T 5130—2001《架空送电线路钢管杆设计技术规定》、DL/T 5219—2005《架空送电线路基础设计技术规定》等新标准、新规范,参考了业内专家编撰的部分专业书籍,并融合了编者的教学经验及工程实践积累的经验。

本书由三峡大学陈祥和、厦门电业局刘在国和东北电力大学肖琦主编,第一、二、三章由陈祥和编写,第六、十一、十二章由刘在国编写,第四、五章由肖琦编写,第七、八、九章由三峡大学杜轩编写,第十章由宁波市电力设计院罗玉鹤编写。陈祥和负责全书统稿。

本书由武汉大学张忠亭教授主审。在本书的编写过程中还参考了一些文献。在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥、错漏之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

2008年2月



目

录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 杆塔分类	1
思考题	3
第二章 杆塔荷载的分析计算	4
第一节 杆塔荷载类型	4
第二节 杆塔标准荷载的计算方法	5
第三节 杆塔设计原则	16
思考题	25
习题	25
第三章 杆塔外形尺寸的确定	26
第一节 杆塔高度的确定	26
第二节 导线间距离的确定	30
第三节 地线支架高度及地线水平距离的确定	31
第四节 杆塔横担长度的确定	32
第五节 杆塔定位与接近物距离的规定	34
思考题	37
习题	37
第四章 环形截面钢筋混凝土构件的强度计算	38
第一节 环形截面钢筋混凝土构件正截面强度计算	38
第二节 环形截面钢筋混凝土构件斜截面强度计算	46
第三节 环形截面钢筋混凝土构件的变形和裂缝计算	53
第四节 环形截面预应力钢筋混凝土构件计算	57
思考题	61
习题	61
第五章 环形截面钢筋混凝土电杆	62
第一节 环形截面钢筋混凝土电杆的构造要求	62
第二节 单杆直线电杆的计算	68
第三节 拉线单杆直线电杆计算	77
第四节 门型直线电杆计算	80
第五节 拉线门型直线电杆计算	84
第六节 耐张型电杆计算	86
第七节 电杆横担计算	92

思考题	97
习题	97
第六章 铁塔材料及其构件的计算	99
第一节 铁塔材料	99
第二节 铁塔构件计算	101
第三节 铁塔节点连接计算	104
第四节 铁塔构件的计算长度及长细比	108
思考题	111
习题	111
第七章 铁塔的型式及结构布置	112
第一节 铁塔的结构布置	112
第二节 铁塔的选择原则	115
思考题	120
第八章 铁塔的内力计算	121
第一节 铁塔内力计算假定及其计算方法	121
第二节 塔身的内力计算	122
第三节 塔头的内力计算	126
第四节 铁塔基础作用力的计算	135
思考题	146
习题	146
第九章 铁塔的稳定计算	148
第一节 等截面格构式柱	148
第二节 变截面格构式柱	152
思考题	153
习题	153
第十章 钢管杆的计算	154
第一节 概述	154
第二节 钢管杆承载能力的计算	157
第三节 钢管杆挠度的计算	160
思考题	164
习题	164
第十一章 杆塔基础设计	165
第一节 概述	165
第二节 倾覆基础的计算	172
第三节 上拔基础的计算	181
第四节 下压基础的计算	188
第五节 灌注桩基础	193
思考题	202
习题	202

第十二章 杆塔其他部件的计算.....	204
第一节 铁塔节点的计算.....	204
第二节 铁塔靴板及座板的计算.....	205
第三节 法兰盘连接的计算.....	208
第四节 拉线板的计算.....	209
第五节 叉梁抱箍的计算.....	210
第六节 拉线抱箍的计算.....	211
第七节 地线眼圈螺栓的计算.....	212
思考题.....	212
附表.....	213
参考文献.....	234

第一章 绪 论

第一节 概 述

电力系统中发电厂的位置,取决于动力资源的分布、运输条件以及工农业用户分布等因素。通过经济性对比表明,不论发电厂位置距用户是远还是近,输送电能比输送燃料要经济,并且水利发电厂位置完全由水资源位置决定。因此,现在的大型发电厂除特殊情况外,一般都建设在能源基地,然后用高压输电线路将电能送往各用户中心。

高压输电线路根据导线放置的位置不同,可分为电缆输电线路和架空输电线路。电缆输电线路是将电缆埋设在地下,不占空间,但施工和维护不方便,多用在城市和跨江河线路中。架空输电线路采用输电杆塔将导线和地线悬挂在空间,使导线与导线之间、导线与地线之间、导线与杆塔之间、导线与地面障碍物之间保持一定的安全距离,完成输电任务。架空输电线路的优点是造价低,施工维护方便,因而被广泛采用。杆塔是架空输电线路中最重要的组成部分之一,杆塔结构是否设计合理和正确使用,直接影响输电线路的建设速度、经济性、可靠性以及安装、维护、检修等各个方面。

用于架空输电线路的杆塔型式很多。杆塔型式的选择,应通过技术经济方案的比较,因地制宜地合理选择。对于运输和施工条件较好的平地、丘陵地区,应优先采用钢筋混凝土电杆或预应力混凝土电杆。并且要大力推广使用预应力混凝土电杆,逐步用预应力混凝土电杆代替普通钢筋混凝土电杆。在运输和施工条件困难、出线走廊狭窄的地区,或者采用铁塔具有显著优越性的地方可采用铁塔。目前,在城网改造中钢管杆已得到了广泛应用。

第二节 杆 塔 分 类

架空输电线路杆塔(以后简称为杆塔)的类型较多,一般按杆塔的材料、用途不同等进行分类。

一、按材料不同分类

杆塔按采用的不同材料一般可分为钢筋混凝土电杆和铁塔两种。

1. 钢筋混凝土电杆

钢筋混凝土电杆合理地利用了钢筋和混凝土两种不同材料的物理特性和力学性能,因此它具有耐久性好、运行维护方便、节约钢材等优点,在我国平原和运输条件好的地区得到了广泛应用。钢筋混凝土电杆又分为普通钢筋混凝土电杆、预应力混凝土电杆和薄壁钢管混凝土电杆(简称钢管混凝土电杆)。预应力混凝土电杆具有节约钢材、自重轻、抗裂性能好等优点,它将取代普通钢筋混凝土电杆。钢管混凝土电杆具有体积小、承载能力大、刚度大、良好的塑性和韧性、抗震性能好、耐疲劳、结构连接简单等优点,因此综合经济效益非常显著,在城市电网中部分得到使用。

普通钢筋混凝土电杆、预应力混凝土电杆有锥形电杆和等径电杆。锥形电杆有整体电杆

和组装电杆两种, 组装电杆由整体电杆组成。整体电杆的杆段已形成系列, 各种不同锥形电杆杆段系列图见附表 1。

2. 铁塔

铁塔是采用型钢制成的钢结构件。它具有强度高、制造方便等优点。在受力较大的耐张型杆塔、转角杆塔、跨越杆塔和 500kV 以上线路及运输和施工条件困难的山区线路部分或全部采用铁塔。国内外铁塔大多采用热轧等边角钢制造, 用螺栓连接组装的空间桁架结构。近年来, 钢管铁塔也开始在部分线路中采用。钢管铁塔的空气动力性能好, 截面力学特性及承载能力优于角钢铁塔, 但加工工艺复杂, 因而造价高于角钢铁塔。

此外, 钢管式杆塔 (简称钢管杆) 在城网改造中得到广泛使用。其优点是结构简单、强度高、耐外力冲击、施工安装方便、挺拔美观。

铁塔的型式名称、代号命名规范见附表 2。

二、按受力不同分类

1. 直线型杆塔 (又称中间杆塔)

在正常运行情况下, 仅承受导线、地线、绝缘子和金具等垂直荷载以及横向水平风荷载, 而不承受顺线路方向张力的杆塔称为直线型杆塔。直线型杆塔用于线路的一个耐张段中间, 在架空线路中用的数量最多, 约占杆塔总数的 80% 左右。直线型杆塔采用悬垂绝缘子串 (见图 1-1 中的直线型杆塔 Z1、Z2)。直线型杆塔在因某种原因发生断线时, 纵向产生不平衡拉力 (称断线张力), 绝缘子串偏斜, 直线型杆塔才承受不平衡张力。

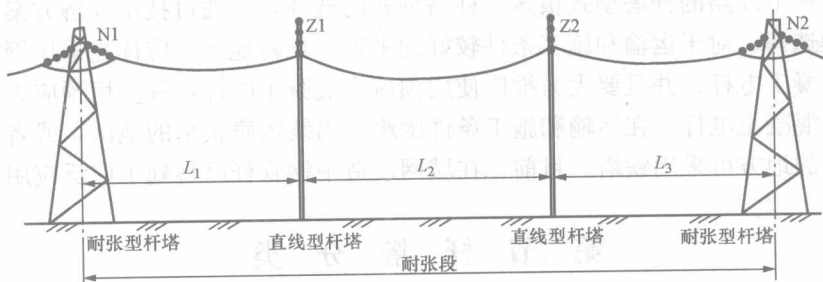


图 1-1 线路的一个耐张段

由于直线型杆塔承受顺线路方向不平衡张力的强度较差, 因此, 在发生事故断线时直线型杆塔可能被逐个拉倒, 如图 1-2 所示。

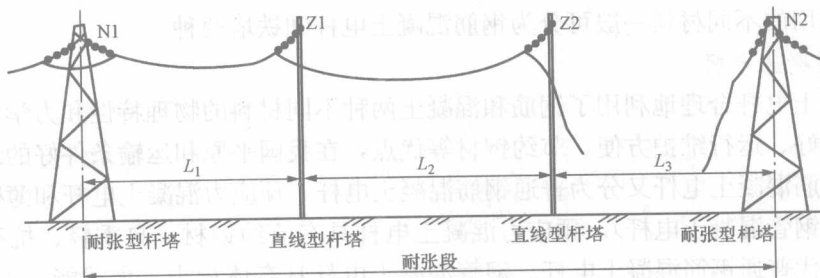


图 1-2 断线时杆塔的变化

2. 耐张型杆塔 (又称承力杆塔)

耐张型杆塔 (见图 1-1 中的 N1、N2) 除具有与直线型杆塔同样荷载的承载能力外, 还

能承受更大的顺线路方向的拉力,以支持事故断线时产生纵向不平衡张力,或者承受因施工、检修时锚固导线和地线引起的顺线路方向荷载的杆塔。耐张型杆塔采用耐张绝缘子串,在发生事故断线时,导线悬挂点不产生位移,以限制事故断线影响范围,如图 1-2 所示。

三、按用途不同分类

1. 换位杆塔

DL/T 5092—2002《110~550kV 架空送电线路设计技术规程》规定,在中性点直接接地的电网中,长度超过 100km 的输电线路均应换位,换位循环长度不宜大于 200km。如一个变电所某级电压的每回出线虽小于 100km,但其总长度超过 200km,可采用换位或变换各回输电线路的相序排列的措施来平衡不对称电流。在线路中用于改换同一回路导线位置的杆塔称为换位杆塔。它有直线型和耐张型两种。如图 1-3 所示,线路的第一段、第二段、第三段通过换位杆塔改变了导线的位置。

2. 跨越杆塔

当线路跨越江河、山谷、铁路、公路、通信线路及其他输电线路时所采用的杆塔,称为跨越杆塔。跨越杆塔的档距一般在 1000m 以上,杆塔高度一般在 100m 以上,跨越杆塔也有直线型和耐张型两种。

3. 转角杆塔

根据实际要求,线路走向有时需要改变。用于改变线路方向的杆塔(见图 1-4)称为转角杆塔。在特殊情况下,直线型杆塔和耐张型杆塔可设计成 5° 以下的小转角。当转角超过 5° 以上时必须按转角杆塔设计。



图 1-3 导线换位示意图

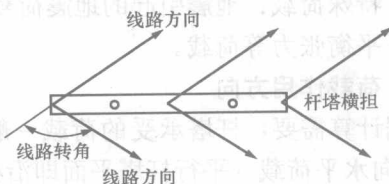


图 1-4 输电线路的转角

4. 终端杆塔

设置在靠近发电厂及变电所的第一座杆塔,称为终端杆塔。终端杆塔用来承受杆塔一侧的水平拉力。它必须是耐张型杆塔。

四、按线路回路数分类

按线路回路数多少可分为单回线路杆塔、双回线路杆塔和多回线路杆塔。双回线路和多回线路杆塔能节省杆塔数目,减少线路事故。

思 考 题

- (1) 高压输电线路有哪些类型?各有什么特点?
- (2) 输电杆塔分为哪些类型?各种杆塔具有什么特点?
- (3) 何谓线路的一个耐张段?为何要设置耐张段?

第二章 杆塔荷载的分析计算

在进行杆塔结构设计计算时,对作用在杆塔外部荷载的分析及选定计算是否合理,直接影响杆塔结构的安全性及经济性,因此在杆塔设计计算时必须对作用在杆塔上的荷载认真地进行分析计算。按照 GB 50061—1997《66kV 及以下架空电力线路设计规范》、DL/T 5092—2002《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》规定(以下简称《规程》),各类杆塔进行强度计算时,均应考虑线路的运行情况、断线情况、安装情况以及特殊情况的荷载。

第一节 杆塔荷载类型

一、荷载的类型

作用在杆塔上的荷载按随时间的变异可分为永久荷载、可变荷载、特殊荷载。

(1) 永久荷载:包括杆塔自重荷载、导线、地线、绝缘子、金具的重力及其他固定设备的重力,土压力和预应力等。

(2) 可变荷载:包括风荷载、导线、地线和绝缘子上的覆冰荷载,导线地线张力、人工和工具等附加荷载,事故荷载、安装荷载和验算荷载等。

(3) 特殊荷载: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。

二、荷载作用方向

根据计算需要,杆塔承受的荷载一般分解为作用在杆塔上的垂直荷载(垂直于地面方向)、横向水平荷载(平行杆塔平面即沿横担方向)、纵向水平荷载(垂直杆塔平面即垂直横担方向),如图 2-1 所示。

1. 垂直荷载

垂直荷载 G 包括:

(1) 导线、地线、绝缘子串和金具的重力荷载;

(2) 杆塔自重荷载;

(3) 安装、检修时的垂直荷载,包括工人、工具及附件等的重力荷载。

2. 横向水平荷载

横向水平荷载 P 包括:

(1) 导线、地线、绝缘子串和金具的风压;

(2) 杆塔塔身风载;

(3) 转角杆塔上导线及地线的角度力。

3. 纵向水平荷载

纵向水平荷载 T 包括:

(1) 导线、地线的不平衡张力,对无转角的杆塔不平衡张

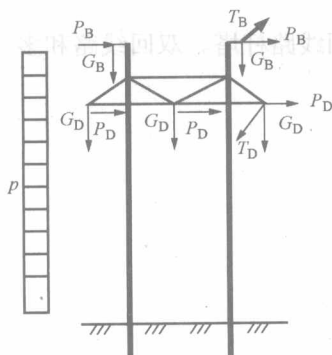


图 2-1 杆塔荷载图

力为顺线路方向, 对有转角的杆塔不平衡张力则与杆塔横担垂直;

(2) 导线、地线的断线张力和断导线时地线对杆塔产生的支持力;

(3) 安装导线时的紧线张力。

第二节 杆塔标准荷载的计算方法

一、自重荷载 G

1. 导线、地线的自重荷载

无冰时

$$G = n\gamma_1 AL_V \quad (2-1)$$

覆冰时

$$G = n\gamma_2 AL_V \quad (2-2)$$

式中 n ——每相导线子导线的根数;

L_V ——杆塔的垂直档距, m;

γ_1 ——导线、地线无冰垂直比载, $N/(m \cdot mm^2)$;

γ_2 ——导线、地线覆冰垂直比载, $N/(m \cdot mm^2)$;

A ——导线、地线截面面积, mm^2 。

2. 绝缘子串、金具的垂直荷载

无冰时为绝缘子串、金具自重力 G_J , 可查绝缘子及各组合绝缘子串的金具质量表。

覆冰时

$$G'_J = KG_J \quad (2-3)$$

式中 G_J 、 G'_J ——分别为无冰、覆冰时绝缘子串、金具的自重力;

K ——覆冰系数。设计冰厚 5mm 时, $K=1.075$; 设计冰厚 10mm 时, $K=1.150$; 设计冰厚 15mm 时, $K=1.225$ 。

3. 杆塔自重荷载

杆塔自重荷载可根据杆塔的每根构件逐一统计计算而得, 也可根据设计经验, 参照其他同类杆塔资料, 做适当假定获得。

二、导线、地线张力引起的荷载计算

导线、地线安装后, 对直线型杆塔来说要求绝缘子串铅垂, 即杆塔两侧架空线的水平张力相等, 因此不产生不平衡张力。但当架空线因某种原因, 如气象条件改变时, 或因档距、高差等引起荷载改变, 两侧架空线的水平张力不再相等, 直线型杆塔将产生不平衡张力。对于转角杆塔及兼有小转角的直线型杆塔在进行荷载计算时, 应将水平张力分解成横向水平荷载 (称角度荷载) 和纵向水平荷载 (称不平衡张力)。断线时, 杆塔在纵向产生断线张力。

1. 角度荷载

导线角度荷载计算示意图如图 2-2 所示, 一相导线的角度荷载为

$$P_J = T_1 \sin \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 \quad (2-4)$$

式中 T_1 、 T_2 ——杆塔前后导线张力, N;

α_1 、 α_2 ——导线与杆塔横担垂线间的夹角, $(^\circ)$ 。

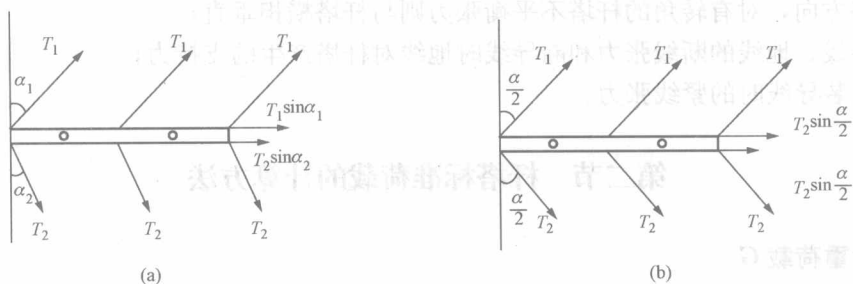


图 2-2 导线角度荷载计算示意图

(a) 夹角不相同情况; (b) 夹角相同情况

当 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha/2$ 时 (α 为线路转角), 则

$$P_J = (T_1 + T_2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2-5)$$

2. 不平衡张力

导线不平衡张力计算示意图如图 2-3 所示, 一相导线的平衡张力为

$$\Delta T = T_1 \cos \alpha_1 - T_2 \cos \alpha_2 \quad (2-6)$$

当 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha/2$ 时, 则

$$\Delta T = (T_1 - T_2) \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2-7)$$

当 $\alpha = 0$ 时, $\Delta T = T_1 - T_2$, 如果 $T_1 = T_2$, 则 $\Delta T = 0$ 。

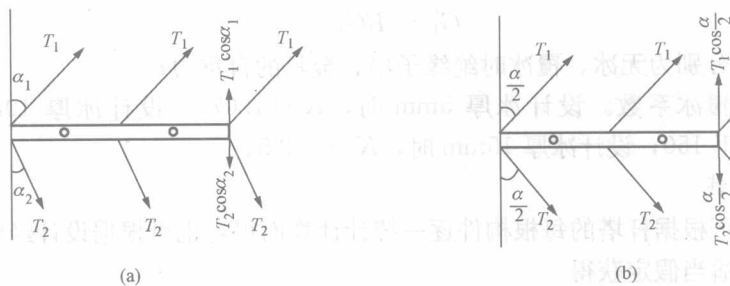


图 2-3 导线不平衡张力计算示意图

(a) 夹角不相同情况; (b) 夹角相同情况

3. 断线张力荷载

(1) 直线型杆塔。《规程》规定了直线型杆塔的导线、地线的断线张力分别取各自最大使用张力乘以一个百分比, 即

$$T_D = T_{Dmax} X\% \quad (2-8)$$

式中 T_D ——断线张力, N;

T_{Dmax} ——导线、地线最大使用张力, $T_{Dmax} = \frac{T_P}{K}$, N;

T_P ——导线、地线的拉断力, N (查导线规格手册);

K ——导线、地线的设计安全系数, 《规程》规定不应小于 2.5, 地线的设计安全系

数应大于导线的设计安全系数；
X%——最大使用张力百分比值，按表 2-1~表 2-3 选用。

表 2-1 单导线断线张力与最大使用张力百分比值 %

钢芯铝绞线型号	钢筋混凝土电杆、钢管杆及拉线塔	自立式铁塔
LGJ-95/20 及以下	30	40
LGJ-120/20~LGJ-185/45	35	40
LGJ-240/20 及以上	40	50

表 2-2 地线不平衡张力与最大使用张力的百分比值 %

杆塔类别	钢筋混凝土电杆、钢管杆	拉线铁塔	自立式铁塔
330kV 及以下线路	15~20	30	50
500kV 线路	20~30	40	50

表 2-3 直线型杆塔分裂导线断线张力取一相最大使用张力的百分比值

一相线分裂数	一相线最大使用张力百分数 (%)		最小限值 (kN)
	平地	丘陵及山地	
2	40	50	≥10
≥3	15	20 及 25	≥20

(2) 耐张型杆塔、转角杆塔及终端杆塔。对耐张型杆塔、转角杆塔及终端杆塔导线断线张力取最大使用张力的 70%，地线的断线张力取最大使用张力的 80%。

断线时出现的断线张力具有一定冲击性，断线张力应根据具体情况乘以冲击系数 K_c 。直线型杆塔断线冲击系数 K_c 如表 2-4 所示。

表 2-4 直线型杆塔断线冲击系数 K_c

部 位	横担部分			塔身部分		
电压等级 (kV)	35	110	220	35	110	220
固定横担	1.0	1.1	1.3	1.0	1.0	1.1
转动横担	—	—	—	1.0	1.1	1.2

注 采用转动横担时杆塔塔身的冲击系数，系指横担转动或屈服时的情况。

三、风荷载的计算

1. 导线、地线风荷载的计算

(1) 风向垂直于导线、地线的风荷载计算。当风向与导线、地线垂直时，导线、地线的风荷载计算式为：

无冰时

$$P = \gamma_4 A L_P \cos \frac{\alpha}{2} \tag{2-9}$$

覆冰时

$$P = \gamma_5 A L_P \cos \frac{\alpha}{2} \tag{2-10}$$

式中 γ_4 、 γ_5 ——分别为无冰、覆冰风压比载, $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$;
A——导线、地线截面面积, mm^2 ;
 L_P ——水平档距, m ;
 α ——线路转角。

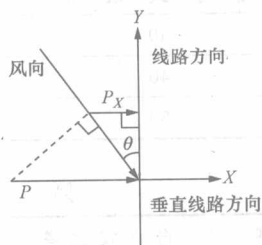


图 2-4 风向与线路
不垂直示意图

(2) 风向与导线、地线不垂直时风荷载计算。当风向与导线、地线成 θ 夹角时 (见图 2-4), 此时导线、地线风荷载计算式为

$$P_X = P \sin^2 \theta \tag{2-11}$$

式中 P_X ——垂直导线、地线方向风荷载分量, N ;
 P ——垂直导线、地线方向风荷载, 按式 (2-9)、式 (2-10) 计算;
 θ ——实际风荷载的风向与导线、地线的夹角。

2. 杆塔塔身风荷载的计算

风向作用在与风向垂直的结构物表面的风荷载计算式为 (单位为 kN)

$$P_s = \mu_z \mu_s \beta_z A_f W_0 \tag{2-12}$$

式中 μ_z ——风压高度变化系数;
 μ_s ——构件体形系数;
 β_z ——杆塔风荷载调整系数;
 A_f ——构件承受风压的投影面积, m^2 ;
 W_0 ——基本风压, kN/m^2 。

下面简述式 (2-12) 中各参数的物理意义及数值的确定。

(1) 风压高度变化系数 μ_z 。基本风压的最大设计风速是按物体离地面一定高度为基准确定的, 由于地表面粗糙不平对风产生摩擦阻力是随高度而变化的, 风压高度变化系数是修正地表面粗糙不平对风产生摩擦阻力, 而引起风速沿高度的变化。距地面越近, 地面越粗糙, 影响就越大。

地表面的粗糙程度, 按《规程》规定, 可分为 A、B、C 三类。A 类是指近海面、海岛、海岸及沙漠地区; B 类是指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的中、小城镇和大城市郊区; C 类是指有密集建筑群的大城市市区。风压高度变化系数 μ_z , 按表 2-5 规定取值, 一般地面粗糙度可按 B 类计算。

表 2-5 风压高度变化系数 μ_z

离地面或 海平面高度 (m)	地 面 粗 糙 度 类 别					
	330kV 及以下杆塔			500kV 杆塔		
	A	B	C	A	B	C
10	1.21	0.88	0.63	1.11	0.80	0.57
15	1.34	1.00	0.74	1.22	0.91	0.67
20	1.43	1.10	0.83	1.31	1.00	0.75
30	1.58	1.25	0.97	1.44	1.14	0.89
40	1.69	1.37	1.09	1.54	1.25	0.99

续表

离地面或 海平面高度 (m)	地 面 粗 糙 度 类 别					
	330kV 及以下杆塔			500kV 杆 塔		
	A	B	C	A	B	C
50	1.78	1.47	1.19	1.63	1.34	1.09
60	1.86	1.56	1.28	1.70	1.42	1.17
70	1.93	1.64	1.36	1.76	1.49	1.24
80	2.00	1.71	1.44	1.82	1.56	1.31
90	2.05	1.77	1.51	1.87	1.62	1.38
100	2.10	1.84	1.57	1.92	1.67	1.44
150	2.32	2.09	1.85	2.12	1.91	1.69
200	2.49	2.29	2.08	2.27	2.09	1.89
250	2.62	2.64	2.27	2.39	2.24	2.07
300	2.74	2.61	2.44	2.50	2.38	2.23
350	2.74	2.74	2.60	2.50	2.50	2.37
≥400	2.74	2.74	2.74	2.50	2.50	2.50

(2) 构件体形系数 μ_s 。构件体形系数是修正在相同风力作用下，结构暴露在风中的形状不同而引起的风压值及其分布的改变。结构风载体形系数实质上就是实际风压与理论上的基本风压的比值，一般是通过风洞模型试验进行测定。

构件体形系数 μ_s 采用下列数值：

环形截面钢筋混凝土杆为 0.7。

圆断面杆件：当 $W_0 d^2 \leq 0.002$ 时为 1.2，当 $W_0 d^2 \geq 0.015$ 时为 0.7（上述中间值按插入法计算）。

型钢（角钢、槽钢、工字钢和方钢）为 1.3。

由圆断面杆件组成的塔架为 $(0.7 \sim 1.2) \times (1 + \eta)$ 。

由型钢杆件组成的塔架为 $1.3(1 + \eta)$ 。

上述各式中： d 为圆断面杆件直径，m； W_0 为基本风压， kN/m^2 ； η 为塔架背风面荷载降低系数，按表 2-6 选用。

表 2-6

塔架背风面荷载降低系数 η

$\begin{matrix} A_t/A \\ b/h \end{matrix}$	η					
	≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	> 0.6
≤ 1	1.0	0.85	0.66	0.50	0.33	0.15
2	1.0	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30

注 1. A 为塔架的轮廓面积， $A = ha$ ； h 为塔架迎风面高度； a 为塔架迎风面宽度； b 为塔架迎风面与背风面之间距离。

2. 中间值可按线性插入法计算。

多边形截面风载体形系数 μ_s 按表 2-7 规定选用。

表 2-7 多边形截面杆塔风载体形系数 μ_s

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

注 锥形杆与等径杆的 μ_s 相同，表列 μ_s 值中已包括杆身附件的影响。

(3) 杆塔风荷载调整系数 β_z 。理论上是把风压作用的平均值看成稳定风压，实际上风是不规则的，风压将随着风速、风向的紊乱变化而不停改变，风压产生的波动分量（波动风压），使结构在平均侧移附近产生振动效应，致使结构受力增大，因此采用风荷载调整系数考虑这种因素的影响。风荷载调整系数 β_z 按表 2-8 取值。

表 2-8 杆塔风荷载调整系数 β_z

杆塔全高 H (m)		20	30	40	50	60
β_z	单柱拉线杆塔	1.0	1.4	1.6	1.7	1.8
	自立式杆塔	1.0	1.25	1.35	1.5	1.6

注 1. 中间值按插入法计算。
2. 对自立式铁塔，表中数值适用于高度与开根之比为 4~6 的情况。

对杆塔本身，当全高不超过 60m 时，按照表 2-8 规定选用，全高均采用一个系数；当杆塔全高超过 60m 时，应按 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》的规定，采用由下到上逐段增大的加权平均的方法计算，但对自立式铁塔不应小于 1.6，对单柱拉线杆塔不应小于 1.8。对基础，当杆塔全高不超过 50m 时，应取 1.0；全高超过 50m 时，应取 1.3。

(4) 杆塔塔身构件承受风压的投影面积 A_f 。

对电杆、钢管杆杆身，有

$$A_f = h \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right)$$

对铁塔塔身，有

$$A_f = \varphi h \left(\frac{b_1 + b_2}{2} \right)$$

式中 h ——计算段的高度，m；

D_1 、 D_2 ——杆身计算风压段的顶径和根径，m；

b_1 、 b_2 ——铁塔塔身计算段内侧面桁架（或正面桁架）的上宽和下宽，m；

φ ——铁塔构架的填充系数，一般窄基塔塔身和塔头取 0.2~0.3，宽基塔塔身可取 0.15~0.2；考虑节点板挡风面积的影响，应再乘以风压增大系数，窄基塔取 1.2，宽基塔取 1.1。

(5) 基本风压 W_0 ，其计算式为（单位为 kN/m^2 ）。

$$W_0 = \frac{V^2}{1600}$$

3. 绝缘子串风荷载的计算

绝缘子串风荷载计算式为

$$P_J = n_1(n_2 + 1)\mu_Z A_J W_0 \quad (2-13)$$