

李成文 黄 炜 秦国梅 编著

110kV 送电线路常用杆塔工程图集

(设计·计算·施工图)



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

110kV 送电线路常用杆塔工程图集

(设计·计算·施工图)

李成文 黄 炜 秦国梅 编著

 中国电力出版社
www.cepp.com.cn

针对目前电力设计院设计任务多,时间要求紧,工程设计紧迫的状况,我们结合实际情况,编制了110kV杆塔设计系列,这个电压等级的线路普及面广,可照顾到全国各省、市及各大型企业中的电力设计。

内 容 提 要

本书共五篇,主要介绍110kV常用杆塔的设计、计算及施工图,包括拉线直线单杆,双杆直线杆,拉线双杆耐张、转角杆,自立式铁塔,铁塔阶梯式基础。本书的计算都有详细的计算过程,并将计算结果汇总,以便工程设计使用。铁塔计算采用三维计算机软件计算,施工图中均列出设计条件,工程设计时可对照选用。

本书可供从事高压送电线路设计的送电设计人员和从事送电线路运行维护的人员使用,也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

110kV 送电线路常用杆塔工程图集:设计·计算·施工图/李成文,黄炜,秦国梅编

著. —北京:中国电力出版社,2007

ISBN 978-7-5083-5276-3

I. 1... II. ①李...②黄...③秦... III. ①输电线路杆塔-结构设计②输电线路-线路杆塔-机械-计算③输电线路杆塔-工程施工-图集 IV. TM75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 032076 号

110kV 送电线路常用杆塔工程图集 (设计·计算·施工图)

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)

2007 年 7 月第一版

880 毫米×1230 毫米 横 16 开本 32.75 印张

航远印刷有限公司印刷

2007 年 7 月北京第一次印刷

1094 千字

各地新华书店经售

印数 0001—3000 册

定价: 69.00 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

在设计工程中,图纸大多是互相套用,以往套用的图纸很少进行验算,并且套用的图纸大多是手工描画的,与现今计算机时代的发展和设计标准的要求相距甚远。目前多数电力设计院(室)面临设计人力少,设计任务多,时间要求紧的问题,在这种情况下重新设计计算、Auto CAD 制图的时间就更加紧迫。为缓解这种情况,我们结合实际情况,编制了110kV杆塔设计系列,这个电压等级的线路普及的面广,可照顾到全国各省、市及大型企业中的电力设计,35~60kV送电线路设计也接近可参考设计计算使用。

本书主要是解决平大量的送电线路工程设计的电杆和铁塔的计算及施工图的急需。本书的特点是,设计、计算、施工图一条龙服务。即混凝土电杆的直线杆和耐张、转角杆,从外荷载计算,到电杆计算、横担计算、拉线计算等都有详细的计算过程,并将计算结果汇总,并配以电子版施工图,工程设计使用非常方便。铁塔计算采用三维计算机软件计算,施工图中均列出设计条件,工程设计时可对照选用。电杆和铁塔的施工图全部采用Auto CAD软件制图,由于本书的幅面太小,无奈只能将较大的常规的施工图切割分片处理了,若使用者需要,我们可以提供常规的Auto CAD施工图(E-mail:gxnnqgm@163.com)。

本书主要介绍混凝土电杆的设计、计算及施工图。主要是110kV常用的电杆,如拉线直线单杆、交叉拉线直线双杆、拉线耐张、转角杆,对这些电杆做了理论上的设计分析及设计理论计算,并有具体的计算实例,设计人员掌握理论,也掌握设计理论的计算,以备杆型有所变化时,也能灵活的进行设计,这是理论部分。更重要的是实用系列设计计算,能结合工程设计条件,直接套用Auto CAD电子版施工图在工程设计中出图了。

铁塔设计计算现在都是三维软件计算机计算,Auto CAD制图软件制铁塔结构图,设计速度快,质量高。若能了解笔算的方法,对铁塔受力、加工及运行中发生问题的处理才能更加得心应手,因此本书介绍了笔算的方法,实质是分析铁塔各部的受力与传力,以便提高设计质量。由于篇幅所限,书中只给出110kV Z1-12酒杯型直线塔结构图。不能将全部铁塔图列出一憾事。若读者需要,我们可以提供常规幅面的Auto CAD施工图。

本书铁塔阶梯式基础设计及施工图与常规的基础设计的不同点是,定出外形尺寸后,分地质条件,反算其基础作用外力,工程设计时配基础就很方便了。

本书的编写者是在实际设计工作中的一个群体,有从事高压送电线路设计几十年的教授级工程师,有理论,有经验,也有教训;还有从事设计、运行、施工多年的中年高级工程师,有实力,有经验;还有年青的工程师,他们有新知识,新技术,奋发向上,给高压送电线路设计专业充满了活力,插上了翅膀而腾飞。本书由李成文(广东省清远供电局设计室)设计、绘图,黄伟(广西泰能工程咨询公司)策划、统筹,秦国梅(广西电力工业勘察设计院)综合、汇总,朱华武、王敏飞、谭敏、罗荣锋、何日毅、韦仕贤、冯雄志、郑志勇参与了计算、制图。

本书可供高压送电线路设计人员使用,也可供从事电杆、铁塔加工的企

业在生产中参考,也可给教学提供实际的教材参考。

作者

2007年2月

目 录

前言

第1篇

110kV 拉线直线单杆设计、计算书及施工图

第1章 110kV 拉线直线单杆设计论述	3	5.3 预应力混凝土电杆的预应力计算	14
1.1 概述	3	5.4 预应力混凝土电杆的承载力计算	16
1.2 直线杆设计的基本规定	3	5.5 环形截面钢筋混凝土电杆的构造要求	19
1.3 直线杆荷载的分类	3	第6章 110kV 拉线直线单杆设计计算	20
1.4 直线杆计算的基本规定	3	6.1 110kV 拉线直线单杆的特点	20
1.5 直线杆结构的基本规定	4	6.2 110kV 拉线直线单杆的计算图形和电杆强度计算	20
第2章 直线杆荷载	5	6.3 110kV 拉线直线单杆的横担计算	21
2.1 直线杆荷载的一般规定	5	第7章 110kV 拉线直线单杆计算实例	23
2.2 直线杆正常运行情况荷载计算	5	7.1 设计条件	23
2.3 直线杆断线情况荷载计算	5	7.2 电杆外荷载计算	23
2.4 直线杆安装情况荷载计算	6	7.3 正常大风情况杆头受力计算	25
2.5 直线杆荷载值计算	6	7.4 事故断上导线情况杆头受力计算	26
第3章 拉线直线单杆常用材料	7	7.5 拉线点以下的电杆受力计算	26
3.1 直线杆使用材料的原则及要求	7	7.6 电杆抗弯强度计算	27
3.2 直线杆结构常用材料性能表	7	7.7 电杆抗裂验算	29
第4章 环形截面普通钢筋混凝土电杆的计算	10	7.8 转动横担计算	29
4.1 环形截面电杆的优点	10	第8章 110kV ZL 拉线直线单杆强度及施工图设计条件计算	31
4.2 普通钢筋混凝土电杆的承载力计算	10	8.1 110kV ZL 拉线直线单杆强度计算	31
第5章 环形截面预应力混凝土电杆的计算	14	8.2 110kV ZL 拉线直线单杆施工图设计条件计算	33
5.1 预应力混凝土电杆的优点	14	第9章 110kV ZL 拉线直线单杆施工图	42
5.2 预应力混凝土电杆所用的材料	14		

第2篇

110kV 交叉拉线直线双杆设计、计算书及施工图

第10章 110kV 交叉拉线直线双杆内力计算	85	11.2 外荷载计算	103
10.1 交叉拉线直线双杆正常大风情况内力分析	85	11.3 导线交叉拉线及拉线棒计算	116
10.2 交叉拉线直线双杆事故情况内力分析	86	11.4 电杆强度及稳定计算	121
10.3 110kV 交叉拉线直线双杆计算实例	93	11.5 导线横担计算	124
第11章 110kV 交叉拉线直线双杆施工图设计条件计算	103	第12章 110kV HL 交叉拉线直线双杆施工图	128
11.1 110kV 交叉拉线直线双杆杆型尺寸	103		

第3篇

110kV 耐张、转角杆设计、计算书及施工图

第13章 110kV 耐张、转角杆施工图设计条件计算	205	13.5 110kV JH ($30^{\circ} \sim 60^{\circ}$) 转角杆施工图设计条件计算	227
13.1 说明	205	13.6 110kV JH ($60^{\circ} \sim 90^{\circ}$) 转角杆施工图设计条件计算	236
13.2 施工图设计条件	205	第14章 110kV NH 耐张杆、JH 转角杆施工图设计条件计算结果	
13.3 110kV NH ($0^{\circ} \sim 5^{\circ}$) 耐张杆施工图设计条件计算	208	汇总表及施工图	242
13.4 110kV JH ($5^{\circ} \sim 30^{\circ}$) 转角杆施工图设计条件计算	218		

第4篇

自立式铁塔设计、计算书及施工图

第15章 铁塔塔型及选择	353	17.1 风压计算的基本规定	356
15.1 概述	353	17.2 铁塔风荷载的标准值计算	356
15.2 铁塔塔型	353	17.3 风向与线路方向成角度时的铁塔风压计算	357
15.3 塔型选择	353	第18章 铁塔设计的基本规定	358
第16章 铁塔的结构布置	354	18.1 铁塔结构荷载的分类	358
16.1 铁塔结构布置的一般要求	354	18.2 铁塔计算的基本规定	358
16.2 自立式铁塔主材与斜材布置	355	18.3 铁塔结构的基本规定	360
第17章 铁塔风压计算	356	第19章 铁塔构件计算	361

19.1	轴心受压构件的强度计算	361	20.7	铁塔基础作用力计算	379
19.2	轴心受压构件的稳定计算	361	第21章	铁塔接点连接计算	380
19.3	受弯构件的强度计算	365	21.1	连接材料	380
19.4	受压同时受弯构件的局部稳定计算	365	21.2	焊接连接的型式和强度计算	381
19.5	受拉同时受弯构件的强度计算	365	21.3	螺栓连接的强度计算	382
19.6	构件的计算长度	365	21.4	塔脚板设计	383
第20章	铁塔内力计算	367	第22章	铁塔结构构件的构造要求	385
20.1	铁塔内力分析的基本方法	367	22.1	铁塔结构构件的一般要求	385
20.2	静定平面桁架结构的内力分析	368	22.2	铁塔组合构件的要求	386
20.3	平面桁架的变形计算	372	第23章	110kV 卡字型直线塔计算实例	387
20.4	超静定平面桁架内力分析	373	23.1	概述	387
20.5	塔架内力和变形计算	375	23.2	110kV 卡字型直线塔内力计算实例	390
20.6	常用横担及避雷线支架内力分析	377	第24章	铁塔施工图	395

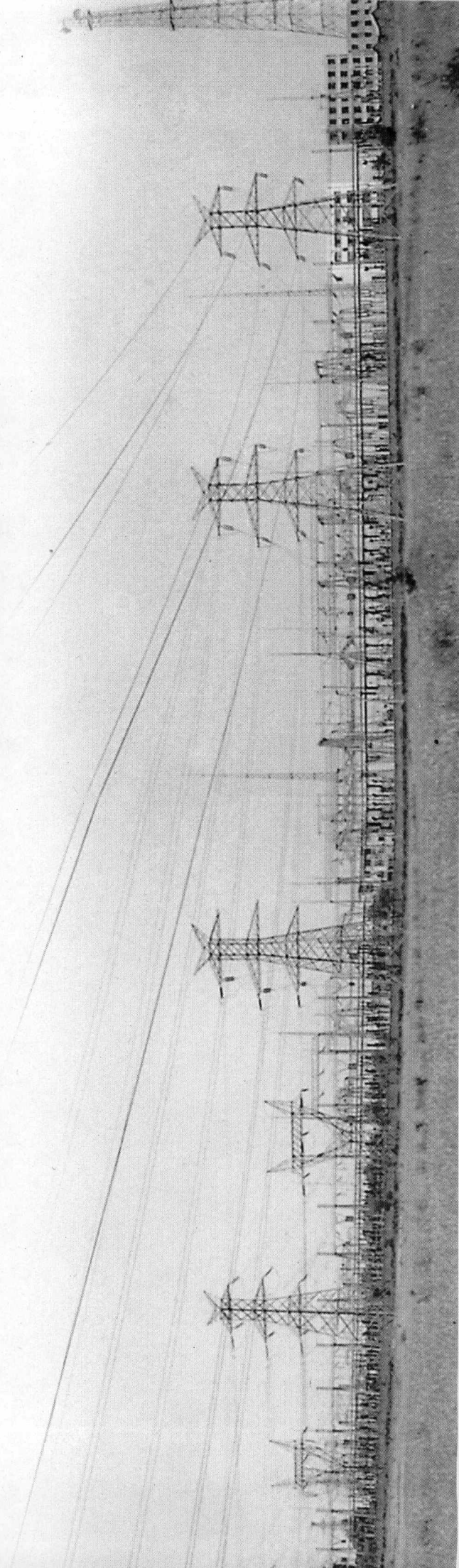
第5篇

铁塔阶梯式基础设计、计算及施工图

第25章	铁塔阶梯式基础设计	441	26.1	铁塔阶梯式基础设计使用说明及举例	444
25.1	阶梯式基础概述	441	26.2	铁塔阶梯式基础选用表	444
25.2	设计基础类型	441	第27章	110kV 铁塔阶梯式基础施工图	460
25.3	地质资料的采用	441	第28章	110kV 铁塔基础作用力汇总	513
25.4	基础计算受力分析	441	28.1	铁塔基础作用力汇总表说明及举例	513
第26章	铁塔阶梯式基础选用表	444	28.2	铁塔基础作用力汇总表	513

第1篇

**110kV 拉线直线单杆设计、
计算书及施工图**



110kV 拉线直线单杆设计论述

1.1 概述

20 世纪 50 年代初期, 送电线路的电杆均用普通钢筋混凝土电杆, 由于该电杆易出现横向裂缝, 一般在允许弯矩的 30% 左右即出现横向裂缝, 从而使用范围受到限制。为了改善其横向裂缝过早出现, 在 60 年代初期研究成功了预应力混凝土电杆, 并采用高强度钢丝或冷拉低碳钢丝作主筋。由于钢丝直径小强度高, 从而提高了电杆强度, 节省了钢材, 电杆施加预应力后, 改善了电杆横向裂缝的过早出现。以往的设计均采用允许应力法, 总结几十年的设计、运行经验, 国家经济贸易委员会于 2002 年颁发了《架空送电线路杆塔结构设计技术规范》(DL/T 5154—2002), 送电线路杆塔即按极限状态进行设计。

1.2 直线杆设计的基本规定

根据新的中华人民共和国电力行业标准 DL/T 5154—2002, 杆塔结构设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法, 用可靠度指标测量结构构件的可靠度。在规定的各种荷载组合作用下或各种变形或裂缝的限值条件下, 满足线路安全运行的临界状态。

结构的极限状态是指结构或构件在规定的各种荷载组合作用下或各种变形或裂缝的限值条件下, 满足线路安全运行的临界状态。极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态。

1.3 直线杆荷载的分类

电杆结构的荷载分为永久荷载和可变荷载两大类。

- (1) 永久荷载: 导线和地线、绝缘子及其附件和杆塔结构及杆塔上各种固定设备等重力荷载; 土压力及预应力等荷载。
- (2) 可变荷载: 风和冰(雪)荷载; 导线、地线及拉线的张力; 安装检

修的各种附加荷载; 结构变形引起的次生荷载及各种振动动力荷载。

1.4 直线杆计算的基本规定

电杆结构按极限状态进行计算时, 结构或构件的强度、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; 结构或构件的变形或裂缝, 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。

(1) 承载力极限状态: 结构或构件达到最大承载力或不适合继续承载的变形, 其表达式为

$$\gamma_0(\gamma_G \cdot C_G \cdot G_K + \psi \cdot \sum \gamma_{Qi} \cdot C_{Qi} \cdot Q_{Ki}) \leq R$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数, 按安全等级选定(一级: 特别重要的杆塔

结构取 1.1, 二级: 各级电压线路的各类杆塔取 1.0, 三级:

临时使用的各类杆塔取 0.9);

γ_G ——永久荷载分项系数(对结构受力有利时取 1.0, 对结构受力不利时取 1.2);

γ_{Qi} ——第 i 项可变荷载的分项系数, 应取 1.4;

C_G 、 C_{Qi} ——永久荷载和可变荷载的荷载效应系数;

G_K ——永久荷载标准值;

Q_{Ki} ——第 i 项可变荷载标准值;

ψ ——可变荷载组合系数(各级电压线路的正常运行情况取 1.0, 220kV 及以上送电线路的断线情况和各级电压线路的安装情况取 0.9, 各级电压线路的验算情况和 110kV 线路断线情况取 0.75);

R ——结构构件的抗力设计值。

(2) 正常使用极限状态: 结构或构件的变形或裂缝等达到正常使用的规定限值, 其计算表达式为

$$C_G \cdot G_K + \psi \cdot \Sigma C_{Qi} \cdot Q_{ik} \leq \delta$$

式中 δ ——结构或构件的裂缝宽度或变形的规定限制值, mm。

(3) 结构或构件承载力的抗震验算, 应采用下列表达式

$$\gamma_{GE} \cdot S_{GE} + \gamma_{EH} \cdot S_{EH} + \gamma_{EV} \cdot S_{EVk} + \gamma_{EQ} \cdot S_Q + \psi_W \cdot S_{wk} \leq R / \gamma_{RE}$$

式中 γ_{GE} ——重力荷载分项系数 (一般取 1.2, 当重力荷载对结构承载力

有利时取 1.0, 当验算结构抗倾覆或抗滑移时取 0.9);

S_{Gr} ——重力荷载代表值效应, 应取结构构件、固定设备和导线、地

线及绝缘子等重力标准值;

γ_{EH}, γ_{EV} ——水平、竖向地震作用分项系数 (当仅计算水平地震作用时:

γ_{EH} 宜取 1.3, γ_{EV} 宜取 0, 当仅计算竖向地震作用时: γ_{EH}

宜取 0, γ_{EV} 宜取 1.3, 当两者同时计算时: 如以水平作用力

为主, γ_{EH} 宜取 1.3, γ_{EV} 宜取 0.5, 如以竖向作用力为主, γ_{EH}

宜取 0.5, γ_{EV} 宜取 1.3);

S_{EH} ——水平地震作用标准值效应, 按《构筑物抗震设计规范》(GB

50191) 的有关规定计算, 对悬挂的导线、地线及其附件的

质量所产生的惯性作用可不予计入;

S_{EVk} ——竖向地震作用标准值效应, 按《构筑物抗震设计规范》的有

关规定计算;

γ_{EQ} ——导线及地线张力可变荷载的分项及组合系数, 取 0.5;

S_Q ——导线及地线张力可变荷载的代表值效应;

S_{wk} ——风荷载标准值效应;

ψ_W ——风荷载分项与组合综合系数, 取 0.3;

R ——结构构件的抗力设计值;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数, 应按照表 1-1 确定。

表 1-1 承载力抗震调整系数

材 料	结构构件	承载力抗震调整系数
钢筋混凝土	跨越塔	0.90
	钢管混凝土杆塔	0.80
	钢筋混凝土杆	0.80
	各类受剪构件	0.85

(4) 一般拉线杆, 拉线受力按简化方法计算时, 须乘以增大系数 1.05。

(5) 电杆拉线初应力一般控制在 (120~140) N/mm²。拉杆预拉力可取拉杆最大使用拉力的 20%~30%。

1.5 直线杆结构的基本规定

(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, 电杆的挠曲度 (不包括基础倾斜和拉线点位移), 不应超过下列数值:

1) 直线型拉线杆的杆顶: $4h/1000$ 。

2) 直线型拉线杆, 拉线点以下杆身: $2H/1000$ 。

注: h 为自地面起至计算点处高度, H 为电杆拉线点至地面的高度。

(2) 在考虑荷载的短期效应组合及长期效应组合影响下, 普通和部分预应力钢筋混凝土构件的计算裂缝的允许宽度分别为 0.2mm 及 0.1mm; 预应力钢筋混凝土构件的混凝土拉应力限制系数应小于 1.0。

(3) 钢结构构件允许最大的长细比 λ :

1) 受压主材: $\lambda = L_0 / r \leq 150$ 。

2) 受压材: $\lambda = K \cdot L_0 / r \leq 220$ 。

3) 辅助材: $\lambda = K \cdot L_0 / r \leq 250$ 。

4) 受拉材 (预拉力的拉杆可不受长细比限制): $\lambda = L_0 / r \leq 100$ 。

注: r 为回转半径; L_0 为构件计算长度; K 为构件长细比修正系数, 按表 1-2 确定。

表 1-2 受压构件长细比修正系数 K

序号	杆件端部 受力状况	长细比 λ	长细比修正系数 K	适用构件举例
1	两端中心受压	$0 < \lambda < 120$	1	双股连接的构件
2	一端中心另 一端偏心受压	$0 < \lambda < 120$	$0.75 + 30/\lambda$	(1) 一端双股连接另一端 单股连接的构件; (2) 交叉斜材
3	两端偏心受压	$0 < \lambda < 120$	$0.5 + 60/\lambda$	两端单股连接的构件
4	两端无约束	$120 \leq \lambda \leq 220$	1	单个螺栓连接的交叉斜材和 单斜材

续表

序号	杆件端部 受力状况	长细比 λ	长细比修正系数 K	适用构件举例
5	一端有约束	$120 \leq \lambda \leq 231$	$0.9 + 11.89/\lambda$	两个以上螺栓连接的交叉斜杆
6	两端有约束	$120 \leq \lambda \leq 242$	$0.82 + 21.64/\lambda$	两端均有两个以上螺栓连接的构件

- (4) 拉线电杆允许最大的长细比：①钢筋混凝土直线杆：180；②预应力钢筋混凝土直线杆：200。
- (5) 电杆全高 70m 及以下，可装脚钉，70m 以上时可装设爬梯。
- (6) 电杆铁构件应采取热浸镀锌防腐，或采用其他等效的防腐措施。腐蚀严重地区的拉线棒应采取其他有效的附加防腐措施。
- (7) 受剪螺栓的螺纹不应进入剪切面。受拉螺栓及位于横担、顶架等受振动部位的螺栓应采取防松措施。靠近地面的拉线上的连接螺栓，宜采取防卸措施。

第2章

直 线 杆 荷 载

2.1 直线杆荷载的一般规定

- (1) 直线杆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，纵向荷载是垂直于横担方向的荷载，垂直荷载是垂直于地面方向的荷载。
- (2) 直线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，必要时应验算地震等稀有情况。

2.2 直线杆正常运行情况荷载计算

直线杆正常运行情况，应计算下列荷载组合：

- (1) 最大风速、无冰、未断线（包括最小垂直荷载和最大水平荷载的组合）。
- (2) 最大覆冰、相应风速及气温、未断线。
- (3) 最低气温、无冰、无风。

2.3 直线杆断线情况荷载计算

直线杆的断线情况，应计算下列荷载组合：

- (1) 断导线情况。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，即按单导线断线张力与最大使用张力的百分比值，按表 2-1 的规定选用。

表 2-1 单导线断线张力与最大使用张力的百分比值

钢芯铝绞线型号	钢筋混凝土电杆 (%)
LGI-95/20 及以下	30
LGI-120/20~LGI-185/45	35
LGI-240/20 及以上	40

- (2) 地线不平衡张力情况。不论多少回路的电杆，任意一根地线有不平衡张力，导线未断、无冰、无风。

地线的不平衡张力，按表 2-2 的规定选用。

表 2-2 地线不平衡张力与最大使用张力的百分比值

电 压 等 级	钢筋混凝土杆 (%)
330kV 及以下线路	15~20
500kV 线路	20~30

- (3) 转动横担或变形横担的启动力, 应满足运行和施工的安全要求。一般 110kV 线路采用标准值 2~3kN; 220kV 线路采用标准值(5~6)kN。
- (4) 重冰区线路电杆断线情况时的导线及地线同时存在有不均匀脱冰情况的各种组合。
- (5) 直线杆的导、地线断线张力均按静态荷载计算。

2.4 直线杆安装情况荷载计算

直线杆安装的气象条件, 应按 10m/s 风速、无冰, 相应气温条件考虑下列荷载组合。

- (1) 安装荷载。
 - 1) 提升导线、地线及附件时发生的荷载。包括提升导线、地线、绝缘子和金具等重量(一般按 2.0 倍计算)和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 2-3 选用。

表 2-3 附加荷载标准值		
电压等级 (kV)	导线 (kV)	地线 (kV)
110	1.5	1.0
	3.5	2.0
220~330		
500	4.0	2.0

- 2) 导线及地线锚线作业时, 锚线对地夹角应尽量小, 一般按不大于 20° 考虑, 锚线张力动力系数采用 1.1。此时, 挂线点处的垂直荷载取锚线张力的垂直分量和导、地线重力及附加荷载之和, 纵向不平衡张力分别取导线、地线张力与锚线张力纵向分量之差。
- (2) 导线、地线的架设次序, 一般考虑自上而下地逐相(根)架设。
- (3) 水平和接近水平且可能上人的杆件, 应能承受 1000N 人重荷载设计值, 此时, 不与其他荷载组合。

2.5 直线杆荷载值计算

- (1) 导线及地线风荷载标准值为
$$W_x = \alpha \cdot W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_{sc} \cdot \beta_c \cdot d \cdot L_p \cdot \sin^2 \theta$$
$$W_0 = V^2 / 1600$$

- 式中 W_x ——垂直于导线及地线方向的水平风荷载标准值, kN;
- α ——风压不均匀系数, 根据设计基准风速, 按照表 2-4 的规定选定;
- W_0 ——基准风压标准值, kN/m²;
- V ——基准高度的风速, m/s;
- β_c ——500kV 线路导线及地线风荷载调整系数, 仅用于计算作用于杆塔上导线及地线风荷载(不含导线及地线张力弧垂计算和风偏角计算), β_c 应按照表 2-4 的规定选用, 其他电压级的线路 β_c 取 1.0;
- μ_z ——风压高度变化系数, 按表 2-5 的规定选用, 一般可按地面粗糙度 B 类计算;
- μ_{sc} ——导线或地线的体型系数, 线径小于 17mm 或覆冰时(不论直径大小) μ_{sc} 取 1.2; 线径大于或等于 17mm 时 μ_{sc} 取 1.1;
- d ——导线或地线的外径或覆冰时的计算外径, 分裂导线取所有导线线外径的总和, m;
- L_p ——杆塔的水平档距, m;
- θ ——风向与导线或地线方向之间的夹角, °。

表 2-4 风压不均匀系数 α 和导线风荷载调整系数 β_c

风速 V (m/s)		≤ 10	15	$20 \leq V < 30$	$30 \leq V < 35$	≥ 35
α	计算杆塔荷载	1.00	1.00	0.85	0.75	0.70
	校验杆塔电气间隙	1.00	0.75	0.61	0.61	0.61
β_c	计算 500kV 杆塔荷载	1.00	1.00	1.10	1.20	1.30

注 对跳线等档距较小者的杆塔荷载计算, α 宜取 1.0。

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

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
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

(2) 电杆风荷载标准值为

$$W_s = W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_s \cdot \beta_z \cdot A_f$$

式中 W_s ——风向与电杆侧面相垂直时,电杆风荷载标准值, kN;

μ_z ——风压高度变化系数,按表 2-5 的规定选用,一般可按地面粗糙度 B 类计算;

μ_s ——构件的体型系数(环形截面钢筋混凝土杆取 0.7);

A_f ——构件承受风压投影面积计算值, m^2 ;

β_z ——杆塔风荷载调整系数(拉线直线单杆,全高 $H=20m$ 时, β_z 取 1.0,全高 $H=30m$ 时, β_z 取 1.4)。

电杆风荷载系均布荷载,按每米杆高计算杆身风荷载标准值为

$$W'_s = W_0 \cdot \mu_z \cdot \mu_s \cdot \beta_z \cdot D$$

式中 D ——电杆外径, m。

(3) 导线、地线垂直荷载标准值 G_{km} 、 G_{kT}

$$G_{km} = g_n \cdot L_v$$

$$G_{kT} = g_T \cdot L_v$$

式中 g_n 、 g_T ——导线、地线自重, kN;

L_v ——垂直档距, m。

第3章

拉线直线单杆常用材料

3.1 直线杆使用材料的原则及要求

(1) 普通钢筋混凝土离心环形电杆的混凝土强度等级不宜低于 C40, 预应力混凝土离心环形电杆的混凝土强度等级不宜低于 C50, 其他预制构件(如底盘、拉盘等)的混凝土强度等级不低于 C20。

(2) 钢筋混凝土构件中的主筋宜采用 I 级、II 级、III 级钢筋和 LL550 级冷轧带肋钢筋, 预应力混凝土构件中的主筋宜采用碳素钢丝、刻痕钢丝和热处理钢筋及冷拉 II、III、IV 级钢筋, 在 220kV 及以下预应力混凝土构件的主筋宜采用 LL650 级或 LL800 级冷轧钢筋。

(3) 电杆用钢材一般采用 Q235、Q345, 有条件时也可采用 Q390, 或钢材强度等级更高的结构钢。质量标准应符合《碳素结构钢》(GB/T 700)、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591) 的要求。

对冬季计算温度等于或低于 $-20^{\circ}C$, 对 Q235 钢应具有 $-20^{\circ}C$ 冲击韧性的合格保证, 对 Q345、Q390 钢应具有 $-40^{\circ}C$ 冲击韧性的合格保证。

(4) 对钢材手工电焊接用焊条应符合《碳素焊条》(GB/T 5117) 和《低合金钢焊条》(GB/T 5118) 的规定。

(5) 对自动焊和半自动焊应采用与主体金属强度适应的焊丝和焊剂, 应保证其熔敷金属抗拉强度不低于手工电焊条的数值。不同强度的钢材相焊接时, 可按强度较低的钢材选用焊接材料。

3.2 直线杆结构常用材料性能表

直线杆结构常用材料性能见表 3-1~表 3-8。

表 3-1 混凝土强度标准值、设计值和弹性模量

强度种类	符 号	混凝土强度等级										N/mm ²
		C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
轴心抗压	标准值 f_{ak}	6.7	10	13.5	17	20	23.5	27	29.5	32	34	36
	设计值 f_c	5.0	7.5	10	12.5	15	17.5	19.5	21.5	23.5	25	26.5

续表

强度 种类	符 号	混凝土强度等级											
		C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	
弯曲	标准值 f_{cmk}	7.5	11	15	18.5	22	26	29.5	32.5	35	37.5	39.5	
抗压	设计值 f_{cm}	5.5	8.5	11	13.5	16.5	19	21.5	23.5	26	27.5	29	
抗拉	标准值 f_{tk}	0.9	1.2	1.5	1.75	2	2.25	2.45	2.60	2.75	2.85	2.95	
	设计值 f_t	0.65	0.9	1.1	1.3	1.5	1.65	1.80	1.90	2	2.1	2.2	
弹性 模量	E_c	1.75×10^4	2.20×10^4	2.55×10^4	2.80×10^4	3.00×10^4	3.15×10^4	3.25×10^4	3.35×10^4	3.45×10^4	3.55×10^4	3.60×10^4	

表 3-2 钢筋强度标准值及设计值

种 类		f_y 或 f_{py} 或 f_{pyy}	f 或 f_p	f' 或 f'_p
热 扎 钢 筋	I 级 (Q235)	235	210	210
	II 级 [20MnSi、MnNb (b)]	325	310	310
	III 级 (20MnSiV; 20MnTi、K20MnSi)	400	360	360
	IV 级 (40Si ₂ MnV、45SiMnV、45Si ₂ MnTi)	540	500	400
冷 拉 钢 筋	I 级 ($d \leq 12$)	280	250	210
	II 级 ($d \leq 25$)	450	380	310
	$d = 28 \sim 40$	430	360	310
	III 级	500	420	360
冷 轧 带 肋 钢 筋	IV 级	700	580	400
	LL550 ($d = 4 \sim 12$)	550	360	360
	LL650 ($d = 4、5、6$)	650	430	380
	LL800 ($d = 5$)	800	530	380
热 处 理 钢 筋	40Si ₂ Mn ($d = 6$)			
	48Si ₂ Mn ($d = 8.2$)			
	42Si ₂ Cr ($d = 10$)	1470	1000	400

注 f_y ——热轧钢筋和冷拉钢筋的强度标准值; f_{py} ——预应力钢筋的强度标准值; f_{pyy} ——热处理钢筋的强度标准值; f 、 f' ——普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值; f_p 、 f'_p ——预应力钢筋的抗拉、抗压强度设计值。

表 3-3 钢材 (型钢) 机械性能

标准代号	牌 号	拉 伸 试 验				180°冷拉试验 d 弯心直径 a 试样厚度 (直径, mm)	
		屈服点 f_y (N/mm ²)		抗拉强度 f_u (N/mm ²)	伸长率 δ_5 (% 不小于)		
		钢材厚度 (直径, mm)					
		≤ 16	$> 16 \sim 35$ $> 16 \sim 40$ $> 40 \sim 60$				
GB/T 700 —1988	Q235	235	225 ($> 16 \sim 40$)	215 ($> 40 \sim 60$)	375~460	26	纵: $d = a$ 横: $d = 1.5a$
GB/T 1591 —1994	Q345	345	325 ($> 16 \sim 35$)	295 ($> 35 \sim 50$)	470~630	21	$d = 2a \leq 6\text{mm}$ $d = 3a > 16 \sim 100\text{mm}$
GB/T 1591 —1994	Q390	390	370 ($> 16 \sim 35$)	350 ($> 35 \sim 50$)	490~650	19	$d = 2a \leq 6\text{mm}$ $d = 3a > 16 \sim 100\text{mm}$

表 3-4 钢丝强度标准值及设计值

种 类	f_{st} 或 f_{py}	f 或 f_p		f' 或 f'_p
碳素钢丝	$\phi 4$ 、 $\phi 5$	1770, 1670, 1570, 1470	1200, 1130, 1070, 1000	400
	$\phi 6$	1670, 1570	1130, 1070	
	$\phi 7$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 9$	1570, 1470	1070, 1000	
刻痕钢丝	$\phi 5$ 、 $\phi 7$	1570, 1470	1070, 1000	360
冷拔低 碳钢丝	甲级 $\phi 4$ $\phi 5$	I 组 II 组 700 650 650 600	I 组 II 组 460 430 430 400	400
	乙级 $\phi 4$ 用于焊接骨架和 焊接网时	550	320	320
	用于绑扎骨架和 绑扎网时		250	250

注 f_{st} ——乙级冷拔碳素钢丝强度标准值; f_{py} ——用作预应力钢筋的碳素钢丝、刻痕钢丝、甲级冷拔低碳钢丝的强度标准值。

表 3-5 钢筋、钢丝和型钢弹性模量

种 类	E_s (N/mm ²)
I 级钢筋、冷拉 I 级钢筋	2.1×10^5
II 级钢筋、III 级钢筋、IV 级钢筋、热处理钢筋、碳素钢丝、冷拔低碳钢丝	2.0×10^5
冷轧带肋钢筋	1.9×10^5
冷拉 II 级、冷拉 III 级钢筋、冷拉 IV 级钢筋、刻痕钢筋	1.8×10^5
型钢	2.06×10^5

表 3-6 钢材、螺栓和锚栓的强度设计值

材 料	项 目	厚度 (或直径, mm)	抗拉 f 或 f_t	抗压和抗弯 f	抗拉 f_t 或 f_y	孔壁承压 f_p
钢 材	Q235	≤ 16 ($>16 \sim 40$) ($>40 \sim 60$)	215 205 200	215 205 200	125 120 115	370
		≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	310 295 265	310 295 265	180 170 155	
		≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	350 335 315	350 335 315	205 190 180	
	Q390	≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	350 335 315	350 335 315	205 190 180	530 510 480
		≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	350 335 315	350 335 315	205 190 180	
		≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	350 335 315	350 335 315	205 190 180	
	4.8 级		200		170	
	5.8 级		240		210	
	6.8 级		300		240	
	8.8 级		400		300	
镀锌粗制螺栓	10.9 级		500		380	
	Q235 钢		160			
	36 号优质碳素钢		190			
	45 号优质碳素钢		215			

注 1. 孔壁承压适用于螺孔端距大于或等于 $1.5d$ 的构件 (d 螺栓直径)。
2. 20 号无缝钢管的强度设计值同 Q235 钢。

表 3-7 拉线用镀锌钢绞线强度设计值

热镀锌钢丝抗拉强度标准值					备 注	
股数	1175	1270	1370	1470		1570
	整根钢绞线抗拉强度设计值 f_g					
7	690	745	800	860		920
19	670	720	780	840		900

(1) 整根钢绞线的拉力设计值等于总截面积与 f_g 的乘积;
(2) 强度设计值 f_g 中已计入了换算系数, 7 股取 0.92, 19 股取 0.9;
(3) 拉线金具的强度设计值, 应取国家标准金具的强度标准值或特殊设计金具的最小试验破坏强度除以 1.8 的抗力分项系数确定

表 3-8 钢材焊缝的强度设计值

焊接方法和 焊接型号	构件钢材		对接焊缝			角焊缝	
	钢号	厚度 (或直 径, mm)	抗弯 受压 f^w	焊缝质量为下列 等级时, 抗弯受拉 f^w		抗剪 f^w	抗拉、 抗压和 抗剪 f^w
				一级、二级			
				三级			
自动焊、半自动 焊和 E43 $\times \times$ 型焊 条的手工焊	Q235	≤ 16 ($>16 \sim 40$) ($>40 \sim 60$)	215 205 200	215 205 200	185 175 170	125 120 115	160
自动焊、半自动 焊和 E50 $\times \times$ 型焊 条的手工焊	Q345	≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	310 295 265	310 295 265	265 250 225	180 170 155	200
自动焊、半自动 焊和 E55 $\times \times$ 型焊 条的手工焊	Q390	≤ 16 ($>16 \sim 35$) ($>35 \sim 50$)	350 335 315	350 335 315	300 285 270	205 190 180	220

注 1. 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缝的数值。

2. 焊缝质量等级应符合现行《钢结构工程施工及验收规范》的规定。
3. 对接焊缝抗弯受压区强度设计值取 f^w , 抗弯受拉区强度设计值取 f^w 。

环形截面普通钢筋混凝土电杆的计算

4.1 环形截面电杆的优点

目前,我国在高压架空送电线路,广泛采用环形截面的电杆,因环形截面具有特别的优点:

- (1) 环形截面各向受力均等,适合电杆受力的特点。
- (2) 环形截面构件比实心截面构件节省材料,通常可节约40%左右。
- (3) 环形截面电杆表面光滑美观,截面无凸出部分,便于运输,不易损坏。
- (4) 我国已有成熟的工业化生产方法,在工厂里能大批生产,并能保证质量,成本低廉。

因此,采用环形截面电杆,无论在技术、经济等方面都较为合理。在此,主要介绍环形截面电杆构件的设计计算。

4.2 普通钢筋混凝土电杆的承载力计算

4.2.1 轴心受拉及轴心受压构件计算

电杆的叉梁和其他杆型的某些构件属于中心受压或中心受拉构件。环形截面中心受拉、受压构件的构造图如图4-1所示。

(1) 轴心受拉构件的正截面受拉承载力,可按式(4-1)计算

$$N \leq f \cdot A_s \quad (4-1)$$

式中 N ——轴心拉力设计值, N ;
 A_s ——纵向普通钢筋截面面积, mm^2 ;
 f ——纵向普通钢筋的抗拉强度设计值, N/mm^2 。

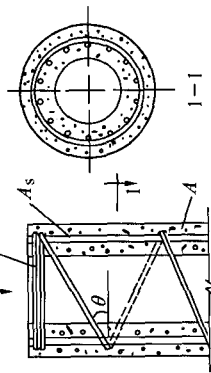


图4-1 环形截面中心受拉、受压构件的构造图

(2) 轴心受压构件的正截面受压承载力,可按式(4-2)计算

$$N' \leq \phi_c (f_c \cdot A + f' \cdot A_s) \quad (4-2)$$

式中 N' ——轴心压力设计值, N ;

f' ——纵向普通钢筋的抗压强度设计值, N/mm^2 ;

A ——混凝土截面面积(当纵向钢筋的配筋率大于3%时,混凝土截面面积 A 应扣除纵向钢筋的截面面积 A_s), mm^2 ;

f_c ——混凝土抗压强度设计值, N/mm^2 ;

ϕ_c ——环形截面钢筋混凝土电杆稳定系数,按表4-1采用。

表4-1 环形截面钢筋混凝土电杆稳定系数 ϕ_c

长细比	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	0.960	0.955	0.950	0.945	0.940	0.935	0.930	0.925	0.920	0.913
50	0.905	0.898	0.890	0.884	0.876	0.868	0.860	0.852	0.844	0.837
60	0.830	0.820	0.810	0.802	0.794	0.786	0.778	0.769	0.760	0.752
70	0.745	0.738	0.730	0.722	0.714	0.707	0.700	0.693	0.686	0.678
80	0.670	0.663	0.656	0.648	0.641	0.634	0.627	0.620	0.613	0.606
90	0.600	0.594	0.588	0.581	0.574	0.568	0.563	0.557	0.552	0.546
100	0.540	0.535	0.530	0.525	0.520	0.515	0.510	0.504	0.498	0.492
110	0.486	0.481	0.476	0.469	0.462	0.456	0.450	0.445	0.440	0.434
120	0.428	0.422	0.416	0.409	0.402	0.397	0.392	0.386	0.380	0.373
130	0.370	0.365	0.360	0.354	0.348	0.342	0.336	0.331	0.326	0.321
140	0.316	0.310	0.304	0.300	0.297	0.293	0.290	0.285	0.280	0.275
150	0.271	0.266	0.262	0.257	0.253	0.249	0.246	0.242	0.238	0.234
160	0.230	0.225	0.221	0.218	0.215	0.212	0.209	0.205	0.202	0.201
170	0.200	0.198	0.195	0.192	0.190	0.189	0.188	0.187	0.186	0.185
180	0.184									

4.2.2 受弯构件的正截面承载弯矩计算

环形截面受弯构件的计算,考虑纵向钢筋均匀的分布在整個截面中,如果钢筋的数量相当多(至少6根),则钢筋的面积可假定为一个厚度为 Δ 的