

高压输电线路 钢筋混凝土电杆设计

胡纓蕾 郭紹宗 江礼璘 編著

江礼璘 校訂

中国工业出版社

代 序

建国以来，在党的正确领导下，我国在高压架空输电线路建设中，广泛采用了环形截面的钢筋混凝土电杆。这种电杆，由于采用了工厂预制的方法，可以在现场进行装配施工，它既可以代替电杆木材，又可以代替铁塔所需的钢材。由于工厂预制时使用钢模，所以节省了模板木材，保证了优质高效，为多快好省地发展高压电力网，创造了极为有利的条件。

目前，由于工、农业的发展，要求高压电力网相应地跟上去，这就需要更多的钢筋混凝土电杆。因此，有必要在总结已有经验的基础上，介绍国内电杆结构设计的优秀方案，以及计算理论的探讨。

本书比较系统地介绍了35~220千伏高压架空输电线路钢筋混凝土电杆的一般杆型及其计算，大部分内容取自各电力设计院几年来积累的資料，而且通过了施工和试验的考验，所以在设计中可以做为参考。其中有些计算方法，各电力设计院还没有统一，有些计算方法还需要进一步提高。在本书中，編著者对这些方法提出了自己的建议和看法，可以在实际设计中参考，例如：电杆刚度计算、直线杆考虑避雷线支持力的计算，以及耐张杆和转角杆考虑拉线初应力的一套计算等。

编写本书的目的，一方面是为了总结经验，推广应用，另一方面也是为了在这个基础上促进技术水平的不断提高。希望高压架空输电线路杆塔结构设计工作者及广大读者，不断提供宝贵意见，以提高本专业的技术水平。

1960年，电力建设总局勘测设计处在北京良乡举办了线路结构学习班。本书就是在该学习班所编写的“钢筋混凝土电杆”讲义的基础上，经过整理而改写成的。原讲义是由线路结构学习班教师胡紹蕾同志和郭紹宗同志合写的，并得到学员们的协助，作了一次修改。三年以来，原稿又经过了不少删改和补充。本书最后的整理改写工作，由江礼璘和胡紹蕾同志负责，其中第七章特种杆部分，由江礼璘同志执笔，其余各章均由胡紹蕾同志执笔。全书由江礼璘同志进行了校阅。

在本书即将出版之际，愿为介绍，希望读者随时提出意见，以便改进和提高。

徐 博 文

1964年8月

編 著 者 的 話

本书的編写出版，是在电力建設总局和西北电力設計院等有关领导的关怀和支持下完成的。

在編写过程中，得到了沈佩琳、曹健勛、李博之等同志的帮助，并承張一凡、陈关甫、赵品祥等同志热忱为本书誊稿和制图；书中部分照片是由电力建設科学技术研究所、华东电力設計院和中原电管理局設計处供給的。伍桂星、吳永庆、罗国渊、刘基勛等同志，在搜集图片資料过程中，給予了很大的帮助，謹在此一并致謝。

书中涉及的专业范围較广，所用符号基本上按照各有关专业的习惯，因此，同一符号在不同章节中有时代表不同的含义。

由于編著者业务水平不高，時間仓促，所以书中錯誤和不当之处，在所难免。誠懇地希望讀者批評指正。

編 著 者

1964年8月

统一书号
15165·3959(水电-521)

定价：2.30 元

目 录

代 序

編著者的話

緒 論	1
第一节 概述	1
第二节 输电线路杆塔的分类	1
第三节 输电线路杆塔的外力荷重	3
第四节 杆塔外形尺寸的确定	5
第一章 钢筋混凝土电杆的材料和制造	8
第一节 混凝土	8
第二节 鋼筋	10
第三节 鋼筋的銹蝕	12
第四节 电杆的制造	14
第二章 环形截面钢筋混凝土电杆构件的計算	16
第一节 环形截面电杆的优点	16
第二节 計算理論和安全系数	16
第三节 中心受压及中心受拉构件的計算	16
第四节 大柔度(細长比)钢筋混凝土构件纵向挠曲系数的考虑	18
第五节 受弯构件計算	21
第六节 切力計算	25
第七节 扭力計算	27
第八节 偏心受压构件計算	30
第九节 偏心受压构件細长比影响的考虑	34
第十节 压弯构件計算	36
第三章 环形截面钢筋混凝土构件的剛度和抗裂性計算	46
第一节 基本原理	46
第二节 环形截面受弯构件的剛度計算	54
第三节 环形截面受弯构件的裂縫出現計算	61
第四节 环形截面受弯构件裂縫开展的計算	66
第五节 裂縫出現和开展的計算例題	70
第六节 裂縫容許的寬度和限制裂縫开展的方法	75
第七节 环形截面电杆的强度、剛度和抗裂性試驗研究	77
第八节 电杆按短期和长期荷重作用下的剛度和裂縫寬度的計算	99
第四章、钢筋混凝土单柱直綫杆	108
第一节 单柱电杆的型式、使用范围及其特点	108

VI

第二节	单柱电杆的横担结构	111
第三节	电杆在正常情况下的强度和挠度计算	113
第四节	电杆在断导线情况下的强度验算	124
第五节	35千伏线路单柱直线杆计算例题	129
第六节	110千伏线路单柱直线杆计算例题	153
第五章	钢筋混凝土拉线单柱直线杆	176
第一节	拉线单柱直线杆的使用范围及其特点	176
第二节	拉线单柱直线杆的杆型	177
第三节	拉线单杆的计算图形和主杆强度计算	178
第四节	拉线计算理论	179
第五节	拉线的合理布置	193
第六节	拉线单柱直线杆的容许挠度和挠度的计算	196
第七节	转动横担设计	197
第八节	110千伏线路拉线单柱直线杆计算例题	203
第六章	钢筋混凝土Π型直线杆	220
第一节	Π型直线杆的使用范围	220
第二节	Π型直线杆的杆型和结构型式	221
第三节	Π型直线杆在正常情况下的内力分析	226
第四节	Π型直线杆在事故情况下的强度计算	231
第五节	110千伏线路拔梢Π型电杆计算例题	239
第六节	220千伏线路等径Π型直线杆计算例题	246
第七章	钢筋混凝土特种杆	255
第一节	钢筋混凝土特种杆在高压线路上的应用	255
第二节	特种杆杆型	255
第三节	单避雷线和双避雷线特种杆比较	262
第四节	特种杆正常情况和事故情况的受力分析及计算公式	263
第五节	特种杆的安装情况计算	281
第六节	转角杆拉线角度、杆身偏移、分角拉线及其计算问题	290
第七节	特种杆计算例题	294
第八章	装配式钢筋混凝土电杆的接头、电杆的组装部件和拉线连接金具	315
第一节	装配式钢筋混凝土电杆的接头	315
第二节	电杆的组装零件	321
第三节	拉线连接金具	327
附 录		353
附录表 1	三角函数表(正弦、余弦)	353
附录表 2	三角函数表(正切、余切)	355
附录表 3	钢筋断面面积及重量表	357
附录表 4	φ200~400等径杆钢筋配置与容许弯矩表	358
附录表 5	镀锌钢绞线特性及规格表	359
附录表 6	基础计算系数 K_{00} 值表	359

附录表 7	計算狹窄基础时的系数表	360
附录表 8	鋼材中心受压杆件纵向挠曲折减系数 ϕ 值表	360
附录表 9	钢筋混凝土环形和矩形截面构件的纵向挠曲系数 ϕ 值表	361
附录表 10	常用几何图形、断面、面积、重心位置、慣性力矩与断面系数	361
附录表 11	各种简单梁的支点反力、剪力、弯曲力矩、挠度及傾斜角度	363
附录表 12	杆塔的最大允許偏斜度	366
附录曲线 1	等径电杆受弯构件配筋曲线 (300号混凝土 允_3)	插頁
附录曲线 2	拔梢杆受弯构件配筋曲线 (300号混凝土 $\text{允}_3\phi 12$)	插頁
附录曲线 3	拔梢杆受弯构件配筋曲线 (300号混凝土 $\text{允}_3\phi 14$)	插頁
附录曲线 4	拔梢杆受弯构件配筋曲线 (300号混凝土 $\text{允}_3\phi 16$)	插頁
附录曲线 5	环形截面偏心受压构件强度計算曲线 (300号混凝土 允_3)	插頁
附录曲线 6	計算避雷线支持力的通用曲线	插頁
参考文献		367

緒 論

第一节 概 述

輸電綫路是電力網的組成部分，它是電力工業的大動脈。

輸電綫路可以分為架空綫路和電纜綫路。絕大多數的輸電綫路是架空敷設的。廣泛採用架空輸電綫路的主要原因，是由於它的建設費用遠較電纜綫路為低，而且容易發現綫路在運行中產生故障的地点，並易于檢修。

本書所述的輸電綫路，是指架空輸電綫路。

在輸電綫路建設中，杆塔的材料和費用占着極大的比重。可以說，綫路杆塔採用得是否經濟合理，幾乎決定了整個綫路的經濟性。杆塔型式，也直接關係着整個綫路的運行可靠性，影響以後數十年內的維護和檢修工作。因此，綫路設計工作者必須研究杆塔型式，合理選擇杆塔材料，不斷改進結構形式，以期獲得經濟適用的杆塔設計。

要做好綫路杆塔結構的設計工作，一般地說，需要很好地注意下列原則：

- (1) 杆塔結構的體系簡單，傳力清晰；
- (2) 杆塔的材料消耗量少，特別是鋼材；
- (3) 杆塔的構件輕巧，構造簡單，便於加工，便於運輸和快速施工；
- (4) 維護檢修方便，使用年限長久。

綫路杆塔使用的材料，主要有木材、鋼材和鋼筋混凝土三種。

採用鋼筋混凝土結構作為綫路的杆塔，同鐵塔比較，可以節約大量的鋼材，且能降低綫路造價。鋼筋混凝土杆塔運行維護方面比較簡便，檢修工作量也少，而鐵塔每三、五年就需要做一次刷油工作。鋼筋混凝土杆塔的使用年限較長，至少可達50年以上，約為鐵塔使用年限的1.5~2.0倍。鋼筋混凝土杆塔與木杆相比較，雖然其初期的投資較大，但它的使用年限較長，綫路運行費用較低，維護和檢修工作較少，而且能節約木材。因此，在我國採用鋼筋混凝土杆塔，以代替鐵塔和木杆，是有很大的優越性和經濟意義的。

第二节 輸電綫路杆塔的分類

輸電綫路的杆塔可根據電壓高低、綫路回数、杆塔在綫路上的用途以及杆塔所採用的材料進行分類。

一、按電壓分類

1. 低壓綫路杆塔（或稱配電綫路） 電壓在1000伏以下的綫路，一般稱為低壓綫路。其所用杆塔，絕大部分都採用單柱式，在轉角和耐張杆上通常採用拉綫杆。杆塔一般多採用木杆和鋼筋混凝土杆。

2. 高压线路杆塔 电压由35至220千伏的线路，一般称为高压线路。其所用杆塔，在我国35千伏及35千伏以下，大部分采用木杆或钢筋混凝土杆，转角及耐张杆采用拉线杆。110千伏直线杆，大部分采用带拉线钢筋混凝土单杆及Ⅱ型钢筋混凝土电杆；在山区或运输困难地区，采用铁塔。转角及耐张杆塔大部分采用带拉线的Ⅱ型电杆。个别跨越或不能使用拉线杆的地方采用铁塔。以前220千伏线路绝大多数采用铁塔。在1957~1960年，某些工程曾试用带拉线单柱铁塔，但这种铁塔尚未得出最合理的结构形式。1959~1960年试验成功了带拉线单柱和Ⅱ型钢筋混凝土电杆。带拉线单柱钢筋混凝土电杆已在工程中试点，Ⅱ型钢筋混凝土电杆已经在许多线路上使用。可以说，钢筋混凝土电杆已肯定是我国建设35~220千伏电压线路的主要杆塔结构。

3. 超高压线路杆塔 电压在330千伏及以上的线路，称为超高压线路。我国还没有实际使用经验。但从已做过的设计方案来看，其杆塔有铁塔和钢筋混凝土杆两种方案。

二、按回路分类

1. 单回路杆塔 这种杆塔，适用于各种电压，导线有水平排列及三角排列两种，如图0-1所示。单柱杆塔的导线大部分是三角排列，双柱杆塔的导线大多为水平排列。

2. 双回路杆塔 这种杆塔一般适用于电压为220千伏以下的线路，我国多用于电压为35千伏及以下的线路。导线排列方式有伞形、倒伞形及桶形等，如图0-2所示。双回路导线水平排列用于低压线路的较多。

3. 多回路杆塔 这种杆塔适用于低压配电线路上。

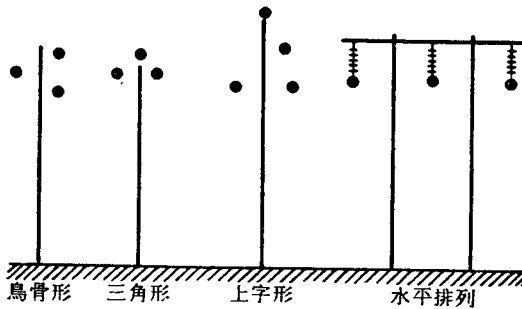


图 0-1 单回路线路导线在杆塔上的排列

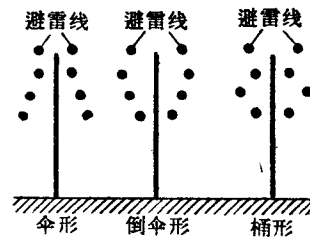


图 0-2 双回路线路导线在杆塔上的排列

三、按用途分类

1. 直线杆塔（亦称中间杆塔） 这种杆塔与导线的连接采用针式或悬式绝缘子，如图0-3所示。悬式绝缘子绝大多数用在电压为35千伏及以上的线路上。连接导线的线夹，有固定型与释放型两种。固定线夹系将导线固定在线夹槽内，在断导线时，导线与线夹不产生滑动或脱落等现象。释放线夹，系将导线固定在线夹槽内，断导线时，线夹脱落在地上。释放线夹在断导线时，可大大减轻杆塔的受力——导线的拉力，但这种线夹在居民区、相邻杆塔的档距及标高相差过大、较重要的跨越地段和难于检修的地段不能使用。

这类杆塔在线路上的用量最多，在平坦地区，约占全线路杆塔总数的80%。

2. 耐张杆塔（亦称承力杆塔） 这种杆塔与导线的连接采用悬式绝缘子。绝缘子串与导线在一条直线上，好像是导线的延长，如图0-4所示。

在綫路正常情况下，耐張杆塔与直綫杆塔所受荷載相同。为了保証綫路运行的可靠，当直綫杆塔傾倒时，要求耐張杆塔能够限制事故范围，不致使綫路杆塔全部傾倒。因此，耐張杆塔需考虑的事故情况比直綫杆塔严重，安全系数也較大。在高压綫路上，耐張杆塔的距离一般規定为 5 公里。

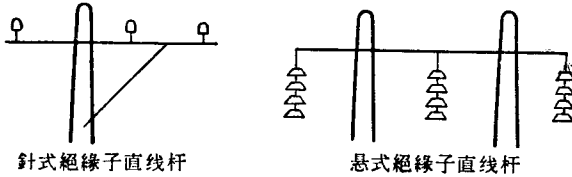


图 0-3

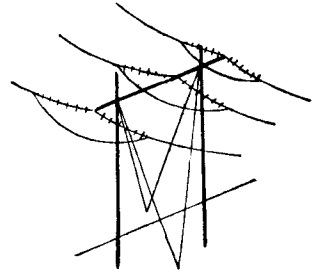


图 0-4 耐張杆图

3. 轉角杆塔 这种杆塔設置在綫路改变方向的地方，它有直綫型和耐張型两种，直綫型用在小于 5° 的轉度处。

綫路的轉角 α 是指綫路內角的补角，如图 0-5 所示。

4. 終端杆塔 終端杆塔是靠近发电厂和变电所的第一基杆塔。当綫路引进发电厂和变电所时，需用終端杆塔承受綫路导綫上的拉力。

5. 换位杆塔 在綫路中需要改換同一回路的导綫位置所用的杆塔，称为换位杆塔，它有直綫型和耐張型两种。綫路导綫换位的方式如图 0-6 所示。

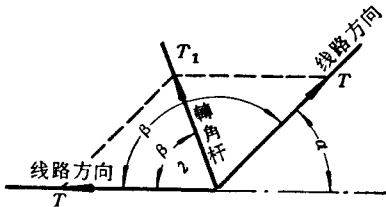


图 0-5 輸电綫路的轉角

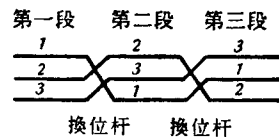


图 0-6 导綫在电杆上的换位

6. 跨越杆塔 当綫路跨越河流、山谷、鉄路、公路、通訊綫及其他电力綫路时使用的杆塔，称为跨越杆塔。跨距很大时，跨越杆塔通常需要很高。跨越杆塔有直綫型和耐張型两种。

四、按杆塔所采用材料分类

1. 木杆 在我国，木杆大多用于电压在 35 千伏以下的綫路和配电綫路上。

2. 钢筋混凝土及預应力钢筋混凝土杆 这种电杆因为可以大量节约鋼材、木材，且有造价低、耐久、维护检修方便等优点，所以在我国各级电压綫路上已经广泛应用。

3. 鉄塔 根据我国目前情况，鉄塔只用于某些大跨越和运输十分困难的地区，或有其他特殊原因不能采用钢筋混凝土电杆的地段。

第三节 輸电綫路杆塔的外力荷重

一、荷重組合

杆塔的外力荷重，根据杆塔的种类、荷重出现时间的长短、杆塔的安全度，可分为三种组合情况。

1. 组合 I

各种杆塔在线路正常工作情况下所受荷重，包括：

(1) 垂直荷重 杆塔本身重量、导线及避雷线荷重或导线及避雷线在复冰时的荷重；

(2) 风荷重 杆塔、导线和避雷线上的风压；

(3) 角度荷重 转角杆塔上导线和避雷线拉力作用在杆塔上的水平分力。

(4) 导线、避雷线的拉力或拉力差 非直线杆塔相邻两档的导线或避雷线由于张力不等而产生的荷重。

2. 组合 II

(1) 各种杆塔在运输、组立或架设导线、避雷线情况下所受的荷重；

(2) 耐张杆塔及高度在60米及以上的各种杆塔，当线路在事故情况下所受的荷重。

3. 组合 III

(1) 直线杆塔在事故情况下所受的荷重，但杆塔高度在60米及以上时除外。事故情况下杆塔除承受基本荷重外，同时承受检修附加荷重；

(2) 验算各种铁塔的横材或接近水平的斜材及交叉水平材时，除承受基本荷重外，并考虑人体荷重影响；

(3) 作用于直线杆塔的避雷线拉力差或断避雷线的荷重；

(4) 对于特殊重要杆塔，考虑在各种气象最不利组合情况下所承受的稀有荷重。如，一般线路风速采用平均5年发生一次，个别地段杆塔用十年发生一次进行验算；

(5) 地震区各种杆塔在线路各种情况下，考虑由于地震而引起的惰力荷重。

杆塔外力荷重的确定和组合，必须按照“高压架空电力线路设计技术规程”（以后简称线路设计规程）（文献1）办理。

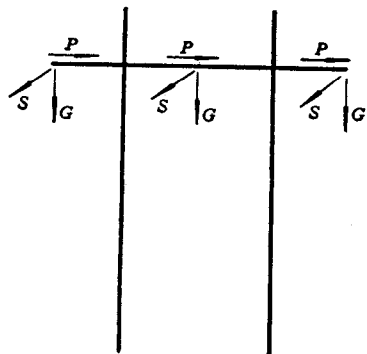


图 0-7

二、荷重作用在杆塔上的方向

根据荷重作用在杆塔上的方向（图0-7），荷重可分为：

1. 垂直荷重 G ，包括：

(1) 杆塔本身的重量；

(2) 导线和避雷线复冰的重量；

(3) 安装及检修时，工具和工人及附件的重量。

2. 水平荷重 P ，包括：

(1) 导线及避雷线风压；

(2) 杆身风压；

(3) 转角杆塔导线和避雷线的角度荷重。

3. 顺线路拉力 S ，包括：

(1) 事故情况断导线时的冲击拉力，或正常情况时的导线的不平衡拉力（耐张塔与

綫路方向同，轉角塔位于所轉角度的二等分綫上)。

(2) 事故情況下斷避雷綫的拉力，或由于避雷綫拉力差引起的不平衡拉力。

第四节 杆塔外形尺寸的确定

确定輸电綫路杆塔的外形尺寸时，必須滿足电气条件，以及結構体系受力的合理性与結構形式的美觀等。电气条件包括綫路电压的高低、导綫排列的形式及其相互間的距离、杆塔之間的档距和考虑不停电检修等。这些条件，在設計中由綫路电气工作者供給，但杆塔結構人員，必須了解其內容要求及基本含义，以便設計出合理的杆塔結構。

一、影响杆塔外形尺寸的主要电气条件

1. 电压高低是决定絕緣子形式和使用个数的主要依据，絕緣子的形式及个数直接关系到杆塔的高度、綫間距离、导綫对杆塔の間隙等。电压愈高，对絕緣子的要求愈严格，个数也愈多。如电压为35千伏的直綫杆塔，只需用一个針式絕緣子，而110千伏的直綫杆塔就需用7片悬式絕緣子。絕緣子串的长度是决定杆塔高度及导綫横担长度的重要因素。

2. 导綫及避雷綫牌号的大小，影响导綫及避雷綫計算所取用的应力。导綫的应力与导綫弛度有直接关系，而导綫的弛度又关系到杆塔高度的确定。

3. 气象条件及地形是在电压及导綫牌号确定后，綫路設計中最主要的依据。一般是根据气象区，来确定导綫排列的形式及杆塔的档距的。

4. 架空綫的最低点到地面，应留有保証安全通行的距离。导綫下面不仅行人，而且还应可以通过火車、汽車和載物的大車。从导綫到由其下面駛过的火車、汽車等之間，不能发生放电現象，因此从火車、汽車或大車的最高点到导綫，应有一保証不与导綫发生閃絡的距离。考虑到这些情况，在綫路設計規程里，对各种电压綫路，明确規定了从导綫最低点到地面必須保持的垂直距离，这个距离叫做导綫的对地間距。

以上四点是确定杆塔外形尺寸的主要条件。

二、杆塔外形尺寸的确定

1. 杆塔高度的确定

杆塔的高度是由絕緣子串长度 λ 、导綫的最大弛度 f 和导綫的对地間距 h 决定的，如图0-8所示。即总高度 H 为：

$$H = \lambda + f + h.$$

此处絕緣子串长度 λ 包括金具的长度在內。

H 称为杆塔的呼称高度，即自杆塔下横担下弦边綫到地面的垂直距离。

在綫路設計中进行經濟档距比較时，可以先假定合理的档距，算出导綫弛度，再得出杆高。但更好的办法是，先根据經驗定出几种杆高，然后推算出相应的档距，这样得出的杆高尺寸是整数，便于加工制造。

2. 导綫横担长度的确定

首先根据电压的高低及杆塔之間的档距，来确定导綫的綫間距离和悬挂在横担上的导綫の間隙圓。根据导綫綫間距离和間隙圓这两个条件，就可决定导綫横担的长度。

(1) 导綫綫間距离 导綫綫間距离是在一定气象条件及电压下，杆塔档距中間导綫

搖擺或跳動時，兩導線間必須滿足的安全距離。

(2) 間隙圓 按電壓高低、氣象區及地形高差等條件，懸掛在杆塔橫担上的導線，在正常运行或風的影響，將因絕緣子串擺動一定角度（稱風偏搖擺角）而改變位置，這時導線與杆塔必須保持一定的距離。根據這些條件，以各情況下導線懸掛點的位置為圓心，各該情況下所要求的最小間隙為半徑畫圓，這些圓稱間隙圓。間隙圓有三種，即正常工作電壓、大氣過電壓和內部過電壓情況的間隙圓。一般均由後兩種情況的間隙圓控制杆塔的尺寸。

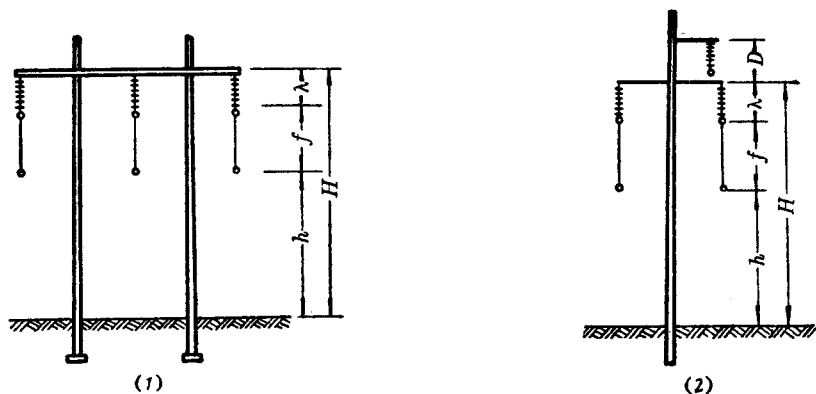


圖 0-8

(1) 導線水平排列；(2) 導線三角形排列。

3. 上、下導線橫担間的距離

如導線為三角形排列時，上下導線橫担的垂直距離 D （圖 0-8），根據電壓、杆塔之間的檔距、地形、間隙圓以及不停電檢修的要求來確定。

4. 導線與避雷線的水平和垂直距離

導線與避雷線的水平和垂直距離由兩種條件來控制，一為導線與避雷線在檔距中間的垂直距離，一為避雷線在杆塔上對導線的保護角。

(1) 導線與避雷線在檔距中間的垂直距離 它是指導線和避雷線兩弛度（取決於導線和避雷線的應力）最低點之間的距離。導線弛度與避雷線弛度的最低點，在檔距中央要保持一定的安全距離。

(2) 保護角 根據防雷要求，用避雷線保護導線。在杆塔圖上，連結避雷線固定點與邊導線固定點，則該連結線與鉛垂線的夾角，不能大於一定的角度，這個角度稱為保護角。

5. 拉線對導線的安全距離

同樣，應根據導線的間隙圓來確定拉線的位置。

例題：電壓 110 千伏，導線 LGJ-95，避雷線 GJ-35，I 級氣象區，地形高差係數 3%，採用帶拉線單柱電杆，檔距取 297 米，呼稱高 13.4 米，導線間水平距離 5.0 米，垂直距離 3.5 米（考慮不停電檢修），導線與避雷線間的垂直距離 2.6 米，保護角 α 不超過 22° ，導線絕緣

子串长 $\lambda = 1.45$ 米；大气过电压，风偏摇摆角 $\theta_A = 11.29^\circ$ ，要求間隙 1.0 米；内部过电压，风偏摇摆角 $\theta_K = 34.4^\circ$ ，要求間隙 0.70 米。根据以上这些电气条件，可定出带拉綫单柱电杆的外形尺寸，如图0-9所示。

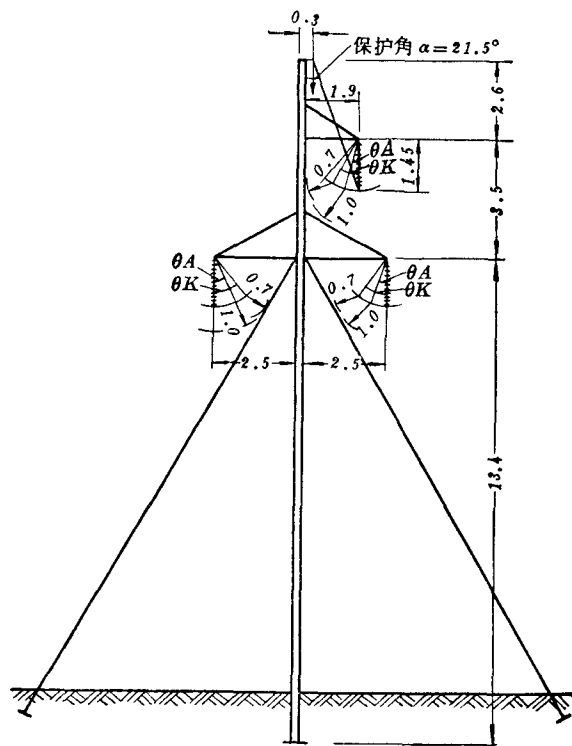


图 0-9

第一章 鋼筋混凝土电杆的材料和制造

第一节 混 凝 土

制造鋼筋混凝土电杆的混凝土，通常采用重混凝土^①。根据我国目前加工制造条件和混凝土与鋼材配合的使用情况，用离心力搗制的普通鋼筋混凝土电杆，采用300号混凝土。用一般振搗法制造的构件，如底盘、卡盘等，混凝土标号最低可采用200号。

制造300号混凝土用的水泥标号应在400号以上。通常采用的是普通硅酸盐水泥，如果在加工制造上能保証混凝土的規定强度，亦可采用矿渣水泥等。但不宜采用比重較小，保水性大的火山灰、頁岩水泥。

混凝土所用的砂，采用石英砂、石英-长石砂，或由坚硬火成岩磨碎而成的人造砂。砂的粒径在0.15~0.5毫米間，其空隙度不大于40%，单位体积的重量不得小于1450公斤/米³。最好采用大顆粒或中顆粒的砂，其平均粒径为0.3~0.35毫米，这样，容易保証混凝土的强度。砂中所含的泥土杂质不应超过其自重的3%，硫化物和硫酸化合物的含量折合SO₃不得超过1%，且不得含有其他杂质。

石子或其他粗骨料本身的极限强度不应小于混凝土的标号。电杆系屬於小体积薄壁构件，鋼筋布置較密，为了保証能将混凝土浇搗结实，石子的最大粒径不应大于25毫米，并且也不大于鋼筋的最小淨間距。目前电杆制造的技术規定（文献2）中規定，石子粒径一般在5~20毫米之間。粒径为20~25毫米的石子不得超过石子总重量的5%。石子中的劣石及針状薄片形石，不得超过10%，孔隙率不大于45%，单位体积重量不得小于1500公斤/米³。石子中的淤泥粘土含量，不得超过2%，硫化物及硫酸化合物折合SO₃不得超过1%。

混凝土的强度决定于水泥的质量、填充料的质量、混凝土的組成、水灰比（即水与水泥的重量比例）和混凝土的浇制方法等因素。

用离心法制造电杆的过程中，混凝土中的多余水份被除掉，因而使混凝土的强度提高。我国的电杆加工厂，在搗制300号混凝土时，水灰比一般在0.5左右。根据以往的經驗，以300号設計配制的混凝土，在离心机里取出的試块强度，总大于設計要求的强度很多。根据某制造厂的資料，同样配合比（即用料相同）的混凝土，用离心法比普通方法搗制的强度要提高30%左右（參閱第三章第七节）。从国外的資料（文献33、34）来看，用离心力搅搗鋼筋混凝土电杆时的水灰比为0.44~0.48，此时在相应的水泥标号下，混凝土的計算强度为320公斤/厘米²。从加工厂获得的資料，混凝土經离心力后水灰比将降低到0.32~0.35，这样，混凝土的强度相应可提高至470公斤/厘米²。由于离心力关系，将水灰比从

① 混凝土的容重大于1800公斤/米³的为重混凝土，小于1800公斤/米³的为輕混凝土。

0.47降低到0.35后,混凝土的强度可提高35~50%。国外以一般振捣法制造的混凝土立方试块的强度乘以系数1.25,作为离心力捣制的电杆混凝土的实际强度。可以看出,这个系数还是偏于安全的。

一般采用标准试块(200×200×200毫米)的强度,作为混凝土强度的度量标准。如果没有取得标准试块时,可按表1-1内的系数进行换算。

国外还规定了在离心式钢模内取空心圆柱形试块的方法。这种试块的外径 $D=25$ 厘米,高度 $h=20$ 厘米,壁厚 $t=2.5$ 厘米,并按式1-1的经验公式换算成混凝土的标准试块强度。

表 1-1 混凝土试块强度换算系数

立方体试块尺寸(毫米)	换算系数
70×70×70	0.80
100×100×100	0.85
150×150×150	0.90
200×200×200	1.00
300×300×300	1.10

$$R = \frac{R_k}{(0.85 - R_k/2000)}, \quad (1-1)$$

式中 R ——混凝土的标准试块强度;

R_k ——空心圆柱形混凝土试块受压时的强度。

混凝土受压时的极限变形,采用棱柱体试验来决定。极限变形随着混凝土强度的增加而增大。根据试验资料,混凝土的极限变形 ϵ_s 约在0.0015~0.003左右。

受弯构件受压区混凝土的极限变形可达到0.003~0.007。在等径和拔梢电杆的部件试验中,曾测得电杆在受弯破坏时,混凝土的极限变形 $\epsilon_s \approx 0.002 \sim 0.0025$ 。

混凝土的极限可拉性 ϵ_p 与质量有关,约在0.0001~0.00015之间,比可压性 ϵ_r 约小15~20倍。

混凝土的计算极限强度可按表1-2取用。

表 1-2 混凝土的计算极限强度, 公斤/厘米²

受 力 种 类	极限强度 (公斤/厘米 ²)	混凝土 标号	50	70	90	110	140	170	200	250	300	400	500	600
中心受压(长直强度) R_{np}			40	56	72	88	108	125	145	175	200	260	310	350
中心受拉及计算受拉主应力时 R_p			6.5	8.5	10	11	13	15	17	20	23	27	31	35
弯曲时受压 R_u			50	70	90	110	135	155	180	220	250	325	390	440

混凝土的长直强度 R_{np} 和标准试块强度 R 之间的关系,由式1-2的经验公式表示。

$$R_{np} = \frac{1300 + R}{1450 + 3R} \cdot R > 0.7R. \quad (1-2)$$

公式1-2对于50~300号的混凝土是正确的,对于高标号混凝土(400~600),此长直强度与试验的结果也是相当符合的。

混凝土在弯曲时受压强度的极限值 R_u 与长直强度之间的关系,可按式1-3表示:

$$R_u = 1.25 R_{np}. \quad (1-3)$$

混凝土的受拉强度 R_p 可近似地按公式1-4计算:

$$R_p = \frac{\sqrt[3]{R^2}}{2} \quad (1-4)$$

混凝土的弹性模数 E_0 可按表1-3取用。

表 1-3 混凝土的弹性模数 E_0 , 公斤/厘米²

混凝土种类	弹性模数 E_0 (公斤/厘米 ²)	混凝土 标号	170	200	250	300	400	500
重 混 凝 土			260000	290000	320000	340000	380000	410000

混凝土单位体积重量, 采用震捣法时, 每立方米的混凝土体积重量一般取2400公斤, 用离心法时, 由于石灰比降低, 混凝土的密实性大, 因此重量相应提高, 根据某制造厂的资料, 一般为2650~2750公斤/米³。

其他有关混凝土性质的资料, 可参阅有关钢筋混凝土的书籍。

第二节 钢 筋

钢筋是钢筋混凝土最重要的组成部分。在使用钢筋时应该注意下面的基本要求:

- (1) 在结构的全部工作阶段中, 钢筋必须与混凝土牢固地粘结, 共同起作用;
- (2) 当结构的承载能力耗尽时, 钢筋亦达到屈服强度或极限强度。这种配筋是最经济的;
- (3) 钢筋质量良好, 具有足够的塑性, 符合一定的物理机械特性和必要的化学性能。必须满足冷弯、焊接加工等工艺上的要求。

我国在输电线路建设工程中, 目前使用最多的钢筋为 A_3 。此外, 亦曾用过 A_0 、 A_1 、25TC、高强度钢丝和钢绞线等, 但使用量较少。

电杆内的纵向与横向钢筋的直径, 不宜过大或过小。如钢筋直径过大, 混凝土对钢筋的保护层厚度难以满足, 如钢筋直径过小, 钢筋骨架的刚度小, 容易在加工制造和起吊运输过程中产生挠曲变形。所以, 通常电杆的纵向钢筋直径采用 $\phi 9 \sim 19$ 毫米, 螺旋钢筋采用冷拔细钢筋或8号镀锌铁丝, 直径为 $\phi 4 \sim 6$ 毫米。

目前我国输电线路电杆使用的钢材, 主要是普通热轧碳素钢。根据冶金工业部1960年颁布的标准(重4-55)①, 这种钢材分为两类, 即甲类和乙类钢。现将该标准关于它们的主要性能规定摘录如下:

一、甲类钢 保证机械性能, 即抗张强度和延伸率两个指标。钢的化学成份在用户没有特殊要求时, 不予保证。

① 冶金工业部在1963年1月1日, 已批准试行新的普通碳素钢钢号和一般技术条件[冶标(YB) 151-63], 并规定在试行期间, 新标准与旧标准(重4-55)共存, 即按新标准进行生产和检验, 如有些规定达不到新标准要求时, 亦允许按相应的旧标准交货。