

输 电 线 路 基 础

浙西电力技术学校 胡国荣 主编



中国电力出版社

内 容 提 要

本书主要内容为：输电线路基本知识、导线力学分析方法和安装计算、杆塔的受力分析方法和强度校核、基础的稳定计算及输电线路的路径选择和杆塔位的确定。

本书为电力技术学校输配电线路运行和检修、输电线路施工专业的专业教材，也可作为输配电线路中级工培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路基础 / 胡国荣主编. - 北京: 中国电力出版社, 1993.6 (1997重印)

技工学校教材

ISBN 7-80125-376-0

I. 输… II. 胡… III. 电力工程-输配电线路-基础理论-技工学校-教材 IV. TM75

中国版本图书馆CIP数据核字 (97) 第07408号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码 100044)

冶林印刷厂印刷

1993年6月第一版 1997年5月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.625印张 352千字

印数 12121—16160 册 定价 14.50 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

本书是根据中国电力企业联合会教育培训部制订的“1989~1993年电力技工学校教材建设规划”编写的，可作为技工学校输配电专业的专业教材。编写内容以原水利电力部教育司1988年3月颁发的教学大纲为依据，并按1989年10月在苏州召开的全国电力技校电气类教研会、教材编审会对编写提纲的审定意见，在内容次序安排上作了适当调整，以更适应培养学生的目的。

本书着重介绍了输电线路导线、杆塔和基础的受力分析方法及基本计算，输电线路路径和杆塔位选定的技术要求，并对导线安装的主要设计图纸、杆塔的典型设计和基础的常用规格作了简单介绍。编写的主要依据是现行的架空输电线路设计技术规程和输电线路基础设计技术规定。

本书共分七章，浙西电力技术学校胡国荣编写第一、二、三、七章，牡丹江电力技术学校王林编写第四、五、六章。全书由胡国荣主编。

本书经牡丹江电力技术学校马定林同志审阅，提出了很多宝贵意见；在编写过程中，得到了浙江省金华电业局张永昌同志、浙江省电力设计院徐建国同志及其他同志的支持和帮助，在此一并表示感谢。

限于水平，书中缺点错误在所难免，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1991年3月

目 录

前 言

第一章 输电线路的基本知识	1
第一节 输电线路的分类与结构	1
第二节 架空输电线路的运行环境及要求	11
第三节 输电线路施工图	17
思考与练习	20
第二章 导线应力弧垂分析方法	21
第一节 导线的比载	21
第二节 导线应力的概念	25
第三节 悬点等高时导线弧垂、线长和应力的关系	26
第四节 小高差档距中导线弧垂、线长和应力的关系	33
第五节 水平档距和垂直档距	42
第六节 导线的状态方程式	94
第七节 临界档距	54
第八节 最大垂直弧垂气象条件的判定	59
第九节 导线应力、弧垂计算步骤	62
第十节 导线机械特性曲线	66
第十一节 避雷线最大使用应力的确定	69
思考与练习	76
第三章 导线安装计算	79
第一节 导线的安装曲线	79
第二节 特殊耐张段的安装计算	82
第三节 邻档断线时交叉跨越限距的校验	92
第四节 导线的振动和舞动	101
第五节 其它安装问题分析	110
第六节 架空输电线路的改建	114
思考与练习	117
第四章 杆塔受力分析	120
第一节 杆塔结构型式及外形尺寸	120
第二节 杆塔荷载	130
第三节 杆塔内力计算	141
思考与练习	155
第五章 杆塔强度校核	157
第一节 影响电杆强度的因素	157

第二节 环截面普通钢筋混凝土构件允许荷载的确定	163
第三节 典型设计简介	171
第四节 铁塔	174
思考与练习	185
第六章 杆塔基础	187
第一节 概述	187
第二节 电杆倾覆基础的受力分析	192
第三节 下压基础的受力分析	197
第四节 上拔基础的受力分析	200
思考与练习	205
第七章 输电线路的路径和杆位	207
第一节 输电线路的路径选择	207
第二节 输电线路的平断面图	213
第三节 输电线路杆塔的定位	219
思考与练习	225
附录 I 常用导线的规格和机械物理特性	226
附录 II 常用导线的比载	229
附录 III 导线力学计算公式	241

第一章 输电线路的基本知识

第一节 输电线路的分类与结构

一、输电线路的分类

现代大型电厂大部分均建在动力资源所在地，如水力发电厂建在水力资源点，即集中在江河流域水位落差大的地方，火力发电厂大都集中在煤炭、石油和其它热源的产地；而大电力负荷中心则多集中在工业区和大城市，因而发电厂和负荷中心间往往相距很远，从而发生了电能输送的问题，产生了承担这一输送任务的输电线路。另一方面，为了保证安全可靠、经济合理地供电，需将孤立运行的发电厂用输电线路连接起来，组成统一的电力系统，如图1-1所示。通常将发电机、变电所、用电设备之间用电力线路连接起来的整体，叫做电力系统。电力系统中除发电机和用电设备外的部分，即输变电设备及各种不同电压等级的电力线路所组成的部分，叫做电力网。电力系统中再加上发电厂的动力部分所组成的整体，叫做动力系统。

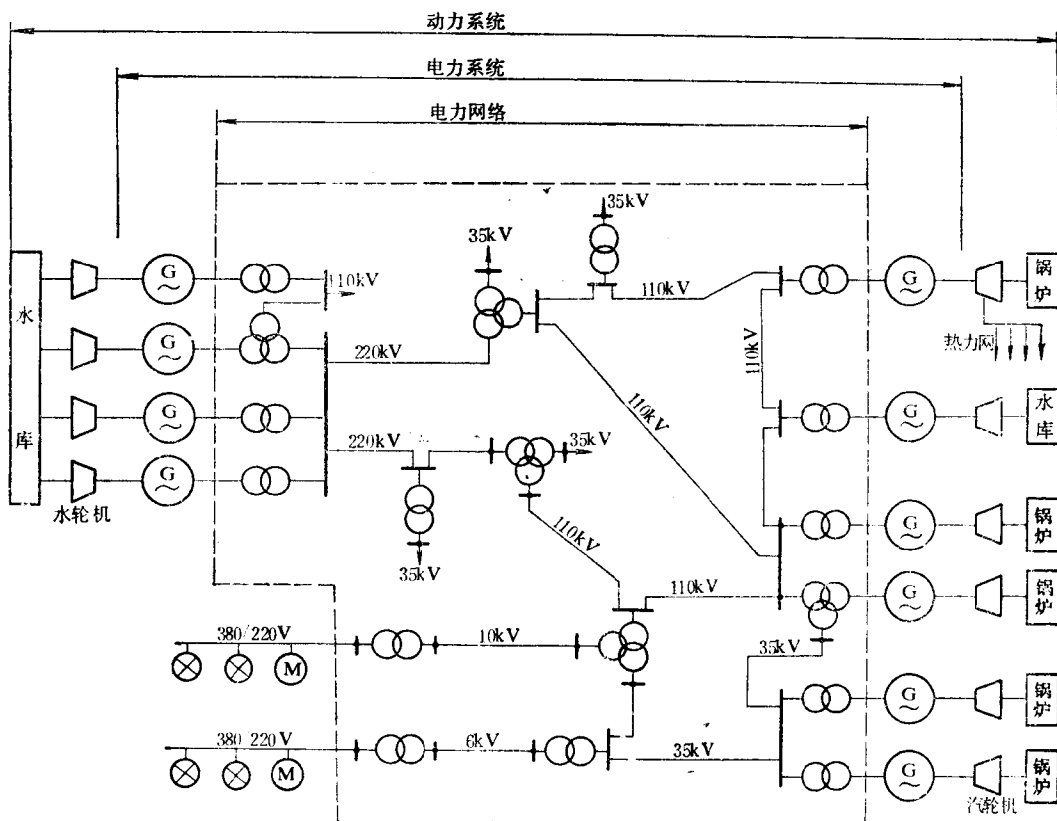


图 1-1 电力系统示意图

电力线路是电力系统的重要组成部分，它担负着输送和分配电能的任务。从电源向电力负荷中心输送电能的线路称为输电线路。为减少电能在输送过程中的损耗，根据输送距离和输送容量的大小，输电线路采用各种不同的电压等级。目前我国采用的电压等级有：35、60、110、154、220、330、500kV。在我国，通常称35~220kV的线路为高压输电线路，330~500kV的线路为超高压输电线路。此外，担负分配电能任务的线路，称为配电线路。我国配电线路的电压等级有：380/220V、6kV、10kV，其中把1kV以下的线路称为低压配电线路，1~10kV线路称为高压配电线路。

输电线路按结构又可分为电缆线路和架空线路。架空线路与电缆线路相比有许多显著的优点，如结构简单、施工周期短、建设费用低、技术要求较低、检修维护方便、散热性能好、输送容量大等。本书只介绍高压架空输电线路的基础知识。

二、架空输电线路的结构

区域发电厂与受电侧变电所之间一般采用输电线路连接。为保证输电线路带电导线与地面之间保持一定距离，必须用杆塔来支撑导线，如图1-2所示。相邻两基杆塔中心线之间的水平距离 l 称为档距。相邻两基承力杆塔之间的几个档距组成一个耐张段，如图中5#~9#杆塔为一个耐张段，该耐张段由4个档距组成。如果耐张段中只有一个档距则称为孤立档，如图中9#和10#杆塔之间。一条输电线路总是由多个耐张段组成的，其中包括孤立档。

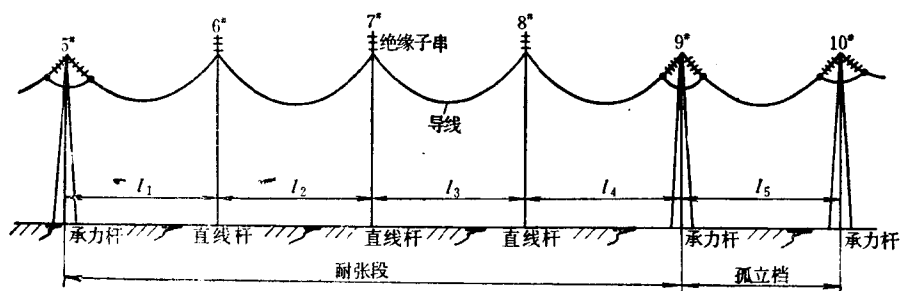


图 1-2 输电线路的组成

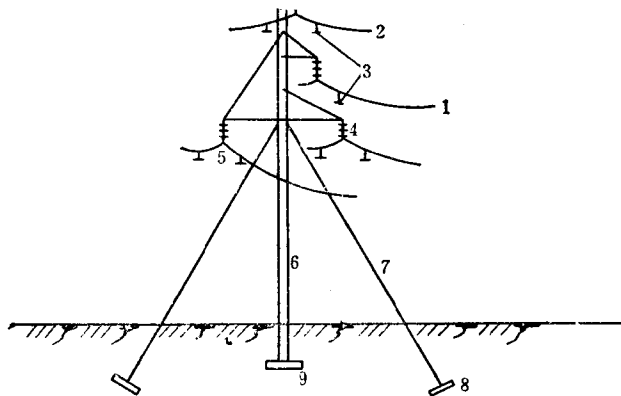


图 1-3 输电线路的组成元件

1—导线；2—避雷线；3—防振锤；4—绝缘子；5—线夹；6—杆塔；7—拉线；8—拉线盘；9—底盘

架空输电线路的组成元件主要有导线、避雷线（或称架空地线，简称地线）、金具、绝缘子、杆塔、拉线和基础，如图1-3所示。它们的作用和型式分述如下。

1. 导线

导线用来传输电流、输送电能。一般输电线路每相采用单根导线，对于超高压大容量输电线路，为了减小电晕以降低电能损耗，并减小对无线电、电视等的干扰，多采用相分裂导线，即每相采用两根、三根、四根或更多根导线。我国第一条330kV刘家峡水电站一天水一关中超高压输电线路采用了双分裂导线，而目前我国在500kV输电线路中推荐采用四分裂导线。

2. 避雷线和接地体

避雷线悬挂于杆塔顶部，并在每基杆塔上均通过接地线与接地体相连接。当雷云放电雷击线路时，因避雷线位于导线的上方，雷首先击中避雷线，并籍以将雷电流通过接地体泄入大地，从而减少雷击导线的机率，保护线路绝缘免遭雷电过电压的破坏，起到防雷保护作用，保证线路安全运行。

3. 杆塔

杆塔用来支持导线和避雷线及其附件，并使导线、避雷线、杆塔之间，以及导线和地面及交叉跨越物或其它建筑物之间保持一定的安全距离。

架空线路的杆塔按受力的特点可分为直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔和终端杆塔。耐张杆塔是能承受较大的两侧导线张力差的杆塔，在正常运行时，能承受导线对杆塔的不平衡张力；在事故断线情况下，能承受住导线对杆塔的断线张力，使断线故障的影响范围限制在与断线点相邻的两耐张杆塔之间；在架线施工中可作为紧线操作塔或锚塔。转角杆塔立于线路转角处，终端杆塔应用于线路的首端和末端。这两种杆塔型式与耐张杆塔相似。转角杆塔所受的垂直线路方向水平力除风压力外，还有导线张力引起的角度合力，如图1-4所示，终端杆塔能承受单侧导线张力。因上述三种杆塔在正常运行或事故断线时均承受导线的张力，所以统称为承力杆塔。直线杆塔是位于相邻两承力杆塔之间的中间杆塔，在线路正常运行情况下不承受导线的张力，而仅承受导线、避雷线、绝缘子和金具等的重力及风引起的垂直线路方向的水平力，只有在杆塔两侧档距悬殊或一侧发生断线时，才承受一定的顺线路方向的不平衡张力。各种杆塔型式参见第四章第一节图例。

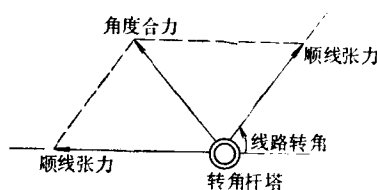


图 1-4 角度合力示意图

杆塔按其材料分主要有钢筋混凝土杆和铁塔。钢筋混凝土杆因其具有经久耐用、维护简单、节约钢材等优点，因而在220kV及以下电压等级线路上得到广泛使用。钢筋混凝土杆按其制造方式又可分为普通钢筋混凝土杆和预应力钢筋混凝土杆两种。预应力钢筋混凝土杆是在混凝土浇筑前，对钢筋施以拉伸张力，待混凝土凝固后，将钢筋锚固并撤去张力，这时钢筋回缩而使混凝土受一预压应力作用。当电杆承受荷载而受拉时，这种预压应力可部分或全部抵消混凝土受拉时所受拉应力而不致产生横向裂缝，从而克服了普通钢筋混凝土杆易产生横向裂缝的缺点。

4. 绝缘子和绝缘子串

绝缘子是线路绝缘的主要元件，用来支承或悬吊导线使之与杆塔绝缘，保证线路具有可靠的电气绝缘强度。

绝缘子按其结构不同分为针式绝缘子、瓷横担绝缘子和悬式绝缘子等。35kV及以上电压等级的输电线路中常用悬式绝缘子组装成串。图1-5为悬式绝缘子，图(a)为普通球窝形，图(b)为防污槽形。防污绝缘子用于通过污秽地区（如工业、化工区或接近沿海、盐场、盐碱地区等）的线路区段上。因线路通过这些地区时，绝缘子表面易沉积一层污秽物质，在下雾、毛毛细雨的天气，绝缘子表面沉积的污秽物质受到潮湿后会使绝缘子的耐压值显著降低，因而往往引起闪络，即所谓污闪。防污绝缘子的高度与普通绝缘子相同，但泄漏距离较大，从而可以防止绝缘子的污闪。

悬式绝缘子按制造材料可分为瓷绝缘子和钢化玻璃绝缘子，按连接方式又可分为球窝形连接和槽形连接两种。目前列入国家标准的普通盘形悬式绝缘子型号及主要技术参数如表1-1所示。

表 1-1

普通盘形悬式绝缘子型号及主要技术参数

绝缘子类别	绝缘子型号	机电破坏 负荷不小于 (kN)	结构高度 (mm)	绝缘件盘径 (mm)	爬电距离 (mm)
瓷绝缘子	XP-60	60	146	255	—
	XP-70	70	146	255	295
	XP-100	100	146	255	295
	XP1-160	160	146	255	305
	XP1-210	210	170	280	335
	XP-300	300	195	320	370
钢化玻璃 绝缘子	LXP-60	60	140	255	—
	LXP1-70	70	146	255	295
	LXP1-160	160	155	280	330

注 摘自《电气工程师手册》机械工业出版社，1987年12月。

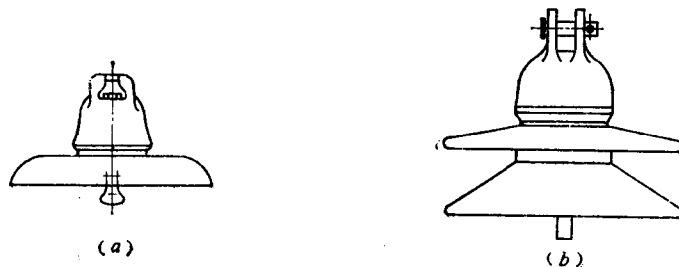


图 1-5 悬式绝缘子
(a)普通球窝形；(b)防污槽形

绝缘子串的组装形式基本分为悬垂绝缘子串和耐张绝缘子串两大类。

悬垂绝缘子串用于直线杆塔上。在一般情况下，采用单串悬垂绝缘子串即能满足设计

要求，其组装形式如图1-6(a)所示。当线路跨越山谷、河流或重冰区以及线路采用导线牌号较大时，导线的综合荷载很大，超过了单串绝缘子串所允许的荷载范围，在这种情况下需采用双串悬垂绝缘子串，如图1-6(b)所示。V形绝缘子串用以控制绝缘子串的风偏角，可以解决摇摆角过大的问题，如图1-6(c)所示。

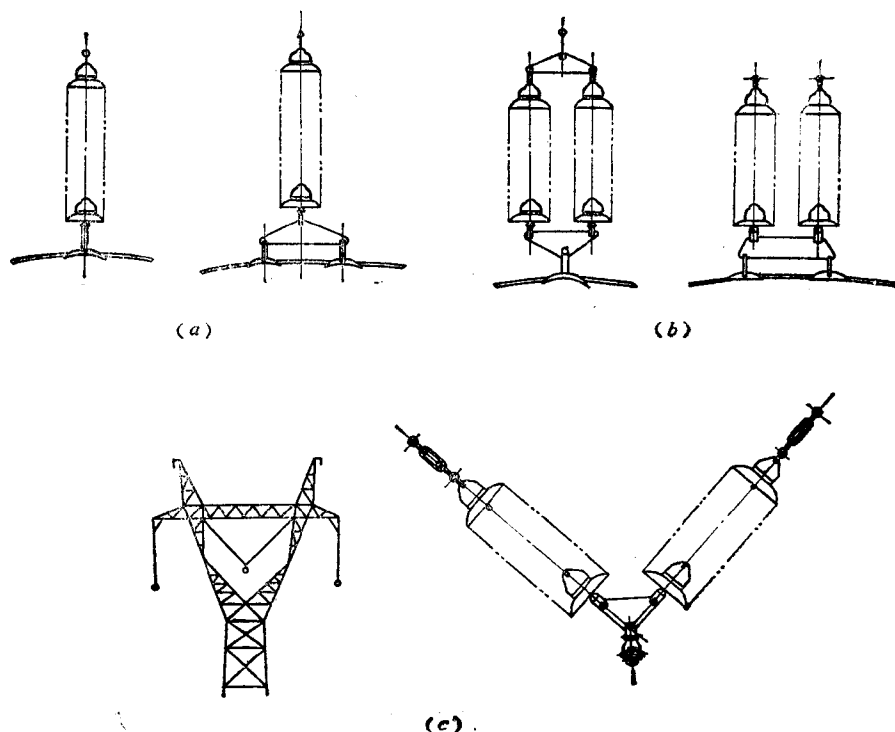


图 1-6 悬垂绝缘子串
(a)单串；(b)双串；(c)V形

耐张绝缘子串用于耐张、转角和终端杆塔，承受导线的全部张力。当导线截面在 185mm^2 及以下时，普遍采用单串耐张绝缘子串，如图1-7(a)所示。当导线截面较大或遇到特大档距，导线张力很大时，可采用双串或三串耐张绝缘子串，如图1-7(b)和(c)所示。耐张、转角和终端杆塔两侧导线用跳线连接，如图1-7(d)所示，图中跳线绝缘子串，用以限制跳线的风偏角，保证跳线对杆塔各部分空气间隙的要求。

5. 金具

金具在架空输电线路中主要用于支持、固定、接续导线及绝缘子连接成串，亦用于保护导线和绝缘体。金具按其用途可分为线夹、连接金具、接续金具、保护金具和拉线金具五大类。

(1) 线夹。线夹有悬垂线夹和耐张线夹两类，悬垂线夹类以字母X表示，耐张线夹类以字母N表示。

悬垂线夹用于将导线固定在直线杆塔的悬垂绝缘子串上，或将避雷线悬挂在直线杆塔上，也可用于换位杆塔上支持换位导线以及非直线杆塔上跳线的固定。悬垂线夹的外形如

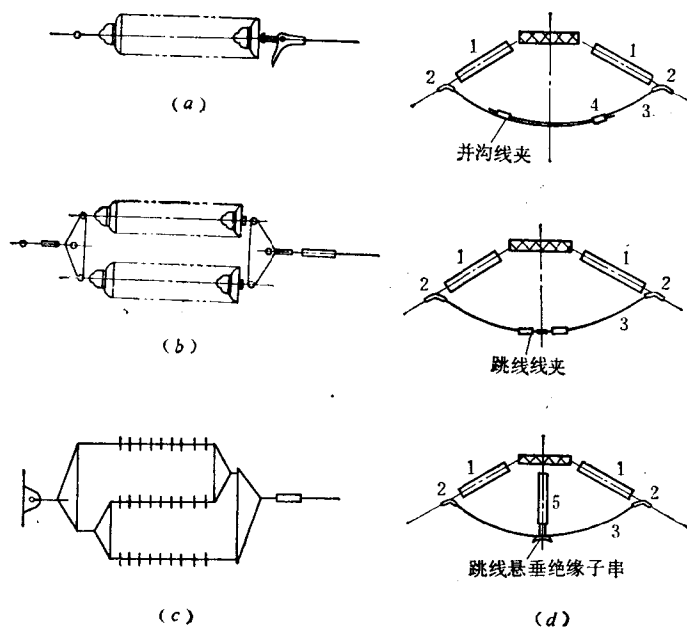


图 1-7 耐张绝缘子串

(a)单串; (b)双串; (c)三串; (d)跳线连接

1—耐张绝缘子串; 2—耐张线夹; 3—跳线; 4—并沟线夹; 5—跳线绝缘子串

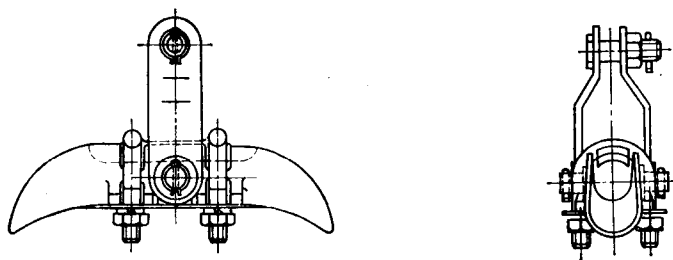


图 1-8 悬垂线夹

图1-8所示。

耐张线夹用于将导线固定在承力杆塔的耐张绝缘子串上, 以及将避雷线固定在承力杆塔上。耐张线夹根据使用和安装条件的不同, 分为螺栓型和压缩型两大类, 如图1-9(a)、(b)所示。螺栓型耐张线夹用于导线截面为 240mm^2 及以下的导线, 压缩型耐张线夹用于导线截面为 240mm^2 及以上的导线。

(2) 连接金具。连接金具用于将悬式绝缘子连接成串, 并将一串或数串绝缘子串连接或悬挂在杆塔横担上。常用连接金具如图1-10所示。

连接金具类型选择应根据使用条件和连接方式进行。例如用于球窝形绝缘子的连接应选球头挂环、单(双)腿碗头挂板等; 用于槽形绝缘子的连接应选平行挂板、直角挂板等; 用于绝缘子串与杆塔横担的连接, 则需根据连接方式选配, 如图1-11所示。图(a)

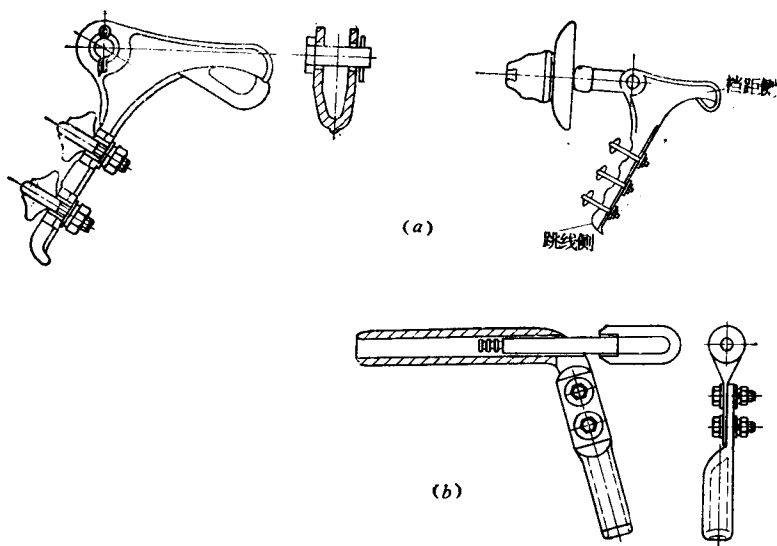


图 1-9 耐张线夹
(a)螺栓型耐张线夹及安装形式；(b)压缩型耐张线夹

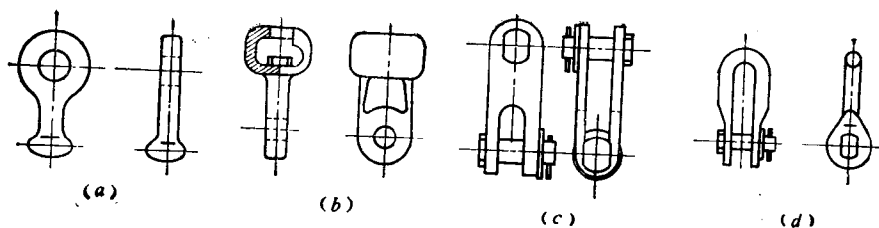


图 1-10 常用的连接金具
(a)球头挂环；(b)碗头挂板；(c)直角挂板；(d)U形挂环

和图 (b) 分别适用于球窝形和槽形悬垂绝缘子串与横担的连接，图 (c) 和图 (d) 分别适用于球窝形和槽形耐张绝缘子串与横担的连接。

连接金具的机械强度一般不是按导线的荷载选择，而是按绝缘子的机械强度确定，每一种型式的绝缘子配备一套与其机械强度相同的金具。考虑金具的互换性，定型金具按破坏荷载分为 4、7、10、12、16、20、25、30、50、60 等十个等级。例如 XP-60 型绝缘子所配金具的破坏荷载不应小于 60kN，即应选等级标记为“7”的金具，其破坏荷载为 69kN，相应的金具如 U-7、QP-7、W-7A 型等。

连接金具所用的螺栓、销钉直径及螺孔和销钉孔的直径等，也力求统一，相互配合。连接金具的破坏荷载和与之相应的连接螺栓直径如表 1-2。

(3) 接续金具。接续金具用于架空输电线路的导线及避雷线终端的接续、承力杆塔跳线的接续及导线补修等，产品型号以字母 J 表示。接续金具主要为导线各种压接方式（钳压、液压、爆压等）所用的接续管及补修管、并沟线夹、预绞丝等，如图 1-12 所示。

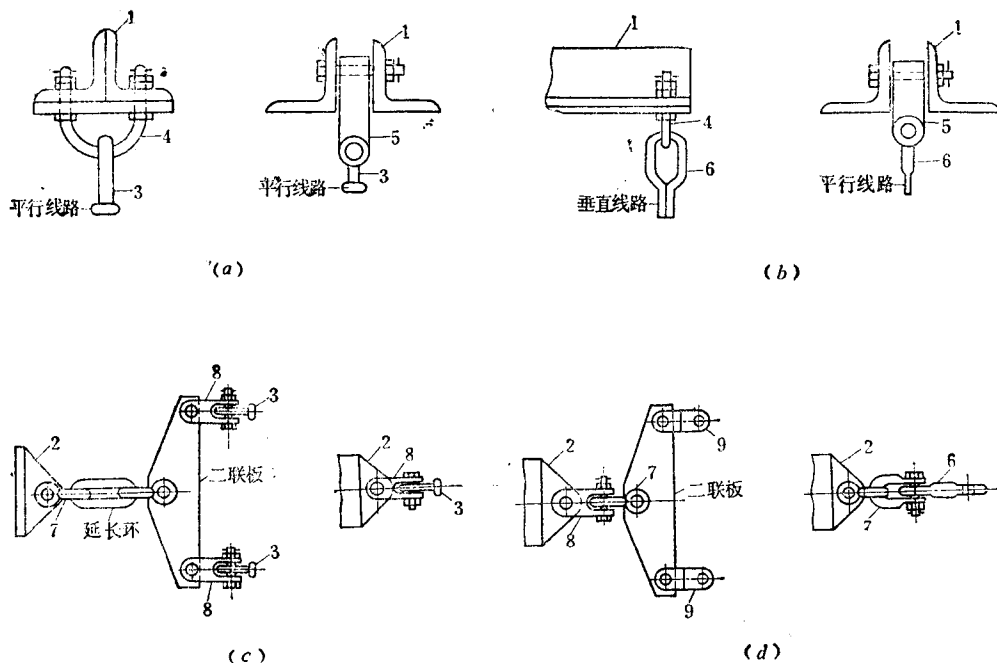


图 1-11 绝缘子串与横担的连接

(a) 球形悬垂绝缘子串连接; (b) 槽形悬垂绝缘子串连接; (c) 球形耐张绝缘子串连接; (d) 槽形耐张绝缘子串连接

1—横担角钢; 2—横担挂线板; 3—球头; 4—U形螺丝; 5—U形挂板; 6—直角环; 7—U形环; 8—四腿直角挂板; 9—三腿平行挂板

表 1-2

连接金具破坏荷载及相应的螺栓直径

标 记	4	7	10	12	16	20	25	30	50	60
破坏荷载(kN)	39	69	98	118	157	196	245	294	490	585
螺栓公称直径(mm)	M16	M16	M18	M22	M24	M27	M30	M36	M42	M48

导线的连接方法: 当导线截面为 240mm^2 及以下时采用钳压方法连接, 导线截面 300mm^2 及以上时采用液压或爆压方法连接。导线的连接方法如图1-13所示。

(4) 保护金具。保护金具包括导线及避雷线的防振金具, 分裂导线用的保持线间距离并抑制导线微风振动的间隔棒以及护线条、防振锤、铝包带, 绝缘子串用的均压屏蔽环等。保护金具如图1-14所示。

(5) 拉线金具。拉线金具主要用于拉线杆塔拉线的紧固、调整和连接, 可分为紧线、调节及连接三类。图1-15所示为可调式 UT 型线夹, 利用该线夹可调节拉线的松紧。图中 1 为可调的 U 形螺丝, 用它来调节拉线的松紧; 2 为楔子, 它与线夹本体 3 固定拉线。常用拉线组合方法如图1-16所示, 图中 1 为可调式 UT 型线夹, 2 为楔形线夹, 3 为拉线, 4 为拉线棒。

6. 基础

杆塔基础是将杆塔固定在地面上, 以保证杆塔不发生倾斜、倒塌、下沉等的设施。如

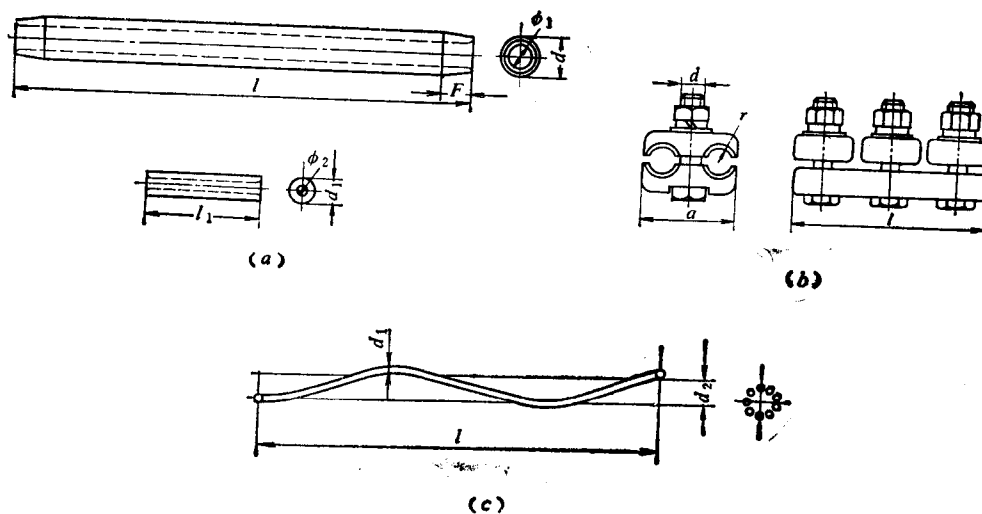


图 1-12 常用接续金具
(a)接续管; (b)并沟线夹; (c)预绞丝补修条

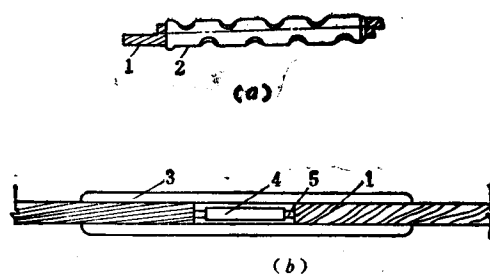


图 1-13 导线的连接方法
(a)钳压; (b)液压
1—导线; 2—钳压接续管; 3—铝管; 4—钢管; 5—钢绞线(钢芯)

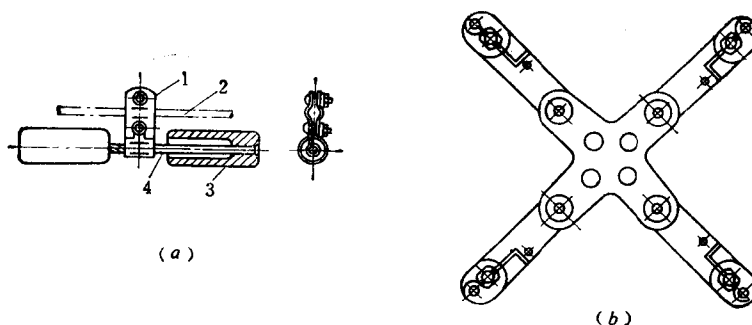


图 1-14 保护金具
(a)防振锤; (b)500kV四分裂导线的间隔棒
1—压板; 2—导线; 3—锤头, 4—钢绞线

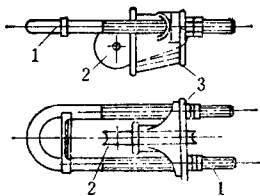


图 1-15 可调式UT型线夹

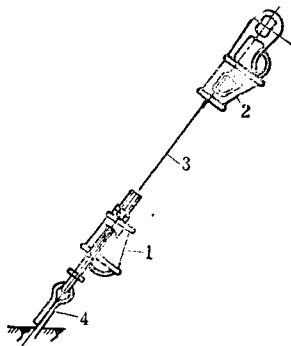


图 1-16 拉线组合方法

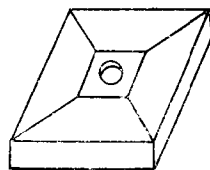


图 1-17 电杆底盘

钢筋混凝土杆若直接埋入土中，由于电杆横截面积很小，则在一般土壤中电杆都会下沉。此时为防止电杆下沉，往往在电杆底部垫一块面积较大如图1-17所示形式的钢筋混凝土预制板——底盘，底盘就是防止电杆下沉的基础。拉线的作用一方面提高杆塔的强度，承担外部荷载对杆塔的作用力，以减少杆塔的材料消耗量；另一方面，连同拉线棒和拉线盘，起到将杆塔固定在地面上，以保证杆塔不发生倾斜和倒塌的作用。

铁塔基础根据地形、地质和施工条件的不同，所采用的类型也不同，见表1-3。

表 1-3

铁 塔 基 础 类 型

类 型	适 用 范 围	示 意 图
混凝土或钢筋混凝土基础	常 用	
预制钢筋混凝土基础	缺砂石和水的地区以及不适合现场浇制的地方	
金属基础	运输困难的地区，对腐蚀性强的土质应加防腐措施或不用	
灌注式基础	跨河流防冲刷的深基础或爆破成形的短桩基础	
岩石基础	山区岩石地区	

第二节 架空输电线路的运行环境及要求

架空输电线路将电能从发电厂输送到负荷中心,沿途需翻山越岭、跨江过河,既要经受严寒酷暑,还要承受风霜雨雪。严酷的环境条件对架空输电线路提出了其特殊要求。

一、能耐受沿线恶劣气象的考验

沿线气象状况对输电线路的影响有电气和机械两个方面,有关气象参数有风速、覆冰厚度、气温、空气湿度、雷电活动的强弱等。对机械强度有影响的气象参数主要为风速、覆冰厚度及气温,称为设计气象条件三要素。

(一) 气象条件三要素

1. 风速

风对输电线路的影响主要有三方面:首先,风吹在导线、杆塔及其附件上,增加了作用在导线和杆塔上的荷载。其二,导线在由风引起的垂直线路方向的荷载作用下,将偏离无风时的铅垂面,从而改变了带电导线与横担、杆塔等接地部件的距离。第三,导线在稳定的微风($0.5\sim 8\text{m/s}$)的作用下将引起振动;在稳定的中速风($8\sim 15\text{m/s}$)的作用下将引起舞动;导线的振动和舞动都将危及线路的安全运行。为此,必须充分考虑风的影响。

输电线路设计中所采用的风速是离地15m高处连续自记10min平均风速,最大设计风速取15年一遇的最大值。配电线路的最大设计风速则采用10年一遇的离地10m高处连续自记10min平均最大值。因此,在线路设计时和运行过程中均需广泛搜集、积累沿线风速资料。但应注意,目前气象台站的风仪高度及测记方法不一定符合输电线路采用的要求,如

表 1-4 风 级 表

风力等级	名 称	地 面 物 的 征 象	相当风速 (m/s)
0	无 风	静,烟直上	0~0.2
1	软 风	烟能表示风向,但风向标不能转动	0.3~1.5
2	轻 风	树叶及微枝摇动不息,旌旗展开	1.6~3.3
3	微 风	人面感觉有风,树叶微响,风向标能转	3.4~5.4
4	和 风	能吹起地面灰尘和纸张,小树枝摇动	5.5~7.9
5	清 劲 风	有叶的小树摇摆,内湖的水有波	8.0~10.7
6	强 风	大树枝动摇,电线呼呼有声,举伞困难	10.8~13.8
7	疾 风	全树动摇,迎风步行感觉不便	13.9~17.1
8	大 风	微枝折断,人向前行感觉阻力甚大	17.2~20.7
9	烈 风	烟囱顶部及屋瓦被吹掉	20.8~24.4
10	狂 风	内陆很少出现,可掀起树木或吹毁建筑物	24.5~28.4
11	暴 风	陆上很少,有大破坏	28.5~32.6
12	飓 风	陆上绝少,大规模的破坏	大于32.6

风仪高为8m,测记方法为一天四次定时2min平均风速,此时就需经过一定方法,将其换算到输电线路的设计风速。另外,在离地不同的高度其风速大小是不同的,当导线高度较高,如跨越江河等地段,其风速还应计及高度影响。

在运行中可根据地面物的征象,按表1-4估计风速大小。

2. 覆冰厚度

输电线覆冰对输电线路安全运行的威胁主要有如下几方面:一是由于导线覆冰,荷载增大,引起断线、连接金具破坏,甚至倒杆等事故;二是由于覆冰严重,使导线弧垂显著增大,造成导线与被跨越物或对地距离过小,引起放电闪络事故等;三是由于不同时脱冰使导线跳跃,易引起导线间以及导线与避雷线间闪络,烧伤导线或避雷线。发生冰害事故时,往往正值气候恶劣、冰雪封山、通讯中断、交通受阻、检修十分困难之时,从而造成电力系统长时间停电。

输电线上的冰层是空气中的“过冷却”水滴降落时,碰到低于 0°C 的输电线后形成的。由于输电线路经过地区的气象条件和地理条件不同,覆冰大致分为雾凇冰和雨凇冰两类。雾凇冰密度较小(约 $0.1\sim 0.4\text{g}/\text{cm}^3$),呈针状或羽毛状结晶,冻结不密集。雨凇冰密度较大(约 $0.5\sim 0.9\text{g}/\text{cm}^3$),冻成浑然一体的透明状冰壳,附着力很强。输电线路覆冰指的是雨凇冰。

覆冰形成的气候条件一般是周围空气温度在 $-2\sim -10^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度在90%左右,风速在 $5\sim 15\text{m}/\text{s}$ 范围内。覆冰的形成还与地形、地势条件及输电线离地高度有关。如平原的突出高地、暴露的丘陵顶峰和高海拔地区,迎风山坡,特别是坡向朝河流、湖泊及水库等地区,其覆冰情况均相对较严重。在同一地点,导线悬挂点距地面越高覆冰也越严重。覆冰的形成,空气湿度是必要条件,在我国北方,虽然气温较低,但由于空气相对较干燥,覆冰反而不如南方有些地区严重。南方有些地区导线积雪有时可达直径十多厘米,这种现象在北方是极少的。

输电线路设计时覆冰按等厚中空圆形考虑,其密度取 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$,且取15年一遇的最大值。

3. 气温

气温的变化,引起导线热胀冷缩,从而影响输电线的弧垂和应力。显然,输电线路经过地区的历年来最高气温和最低气温是我们特别关心的。因为,气温越高,导线由于热胀引起的伸长量越大,弧垂增加越多,所以需考虑导线对被交叉跨越物和对地距离应满足要求;反之,气温越低,线长缩短越多,应力增加越多,所以需考虑导线机械强度应满足要求。另外,年平均气温、最大风速时的气温也必须适当选择。

(二) 组合气象条件和典型气象区

输电线路在运行中将连续经历各种气象条件,我们要对所有气象条件进行分析、计算是不可能的,也不必要。在实际工程中,只要把握了对线路各部件起控制作用的几种气象条件,也就把握了所有气象条件对输电线路的影响。因此,我们必须结合实际情况,慎重地分析原始气象资料,对风速、覆冰厚度和气温进行合理的组合,概括出既在一定程度上反映自然界的气象规律,又适合线路结构上的技术经济合理性及设计计算的方便性的“组