

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

水力发电厂是建在水力资源点，即集中在江河流域水位落差大的地方，离工业区一般较远。火力发电厂大都集中在煤炭、石油和其他热源所在地，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。通常将发电厂、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。电力系统中除发电厂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，称为电力网。

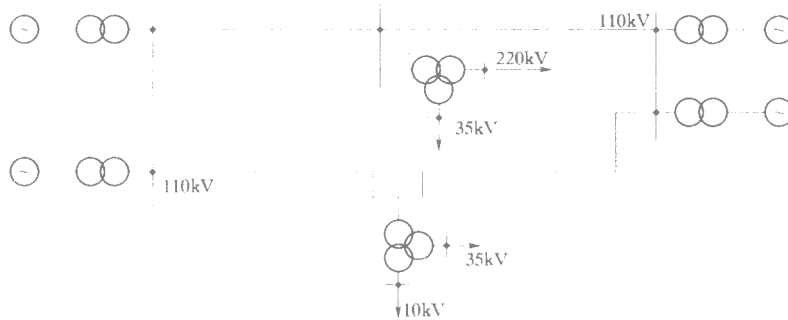


图 1-1 电力系统示意图

电力线路是电力系统的组成部分，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。目前我国采用的各种不同电压等级有 35、60、110、220、330、500kV。在我国，通常称 35~220kV 的线路为高压输电线路，330~500kV 的线路称为超高压输电线路。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：380V/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，必须用杆塔支撑导线，如图 1-2 所示相邻杆塔中心线之间的水平距离 L 称为档距相邻两基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。

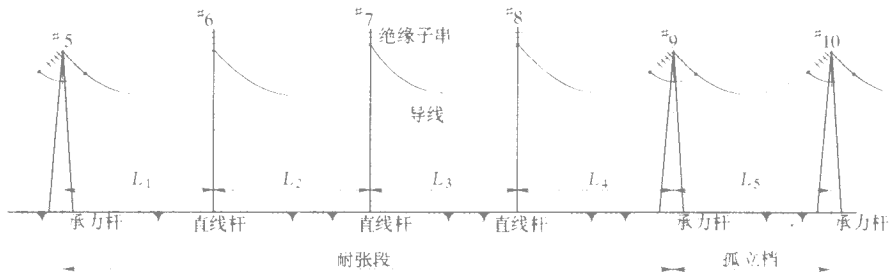


图 1-2 输电线路的组成

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。

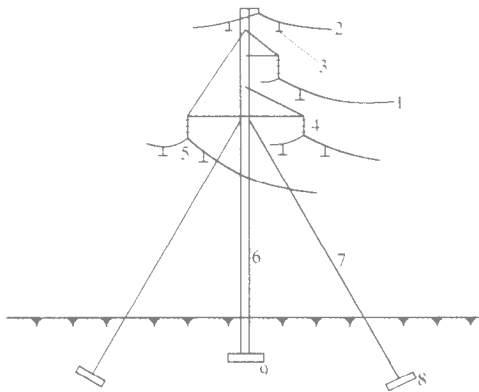


图 1-3 输电线路的组成元件
导线；2—避雷线；3—防振锤；4—绝缘子；5—线夹；
6—杆塔；7—拉线；8—拉线盘；9—底盘

（一）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。

（二）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，并借以将雷电流通过接地体泄入大地，从而减少雷击导线的几率，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。

（三）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他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。这两种杆塔的形式与耐张杆塔相似。转角杆塔承受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。上述三种杆塔在正常运行或事故断线时均承受着导线的张力，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，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。

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 10~110kV 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制前，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。

(四) 绝缘子和绝缘串

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 1-5(a) 为普通球窝形；图 1-5(b) 为防污槽形。防污绝缘子用于通过污秽地区的线路区段上。因线路通过这些地区时，绝缘子表面易沉积一层污秽物质。在雾天、毛毛雨的天气，绝缘子表面沉积的污秽物质受潮后会使得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。



图 1-4 角度合力示意图

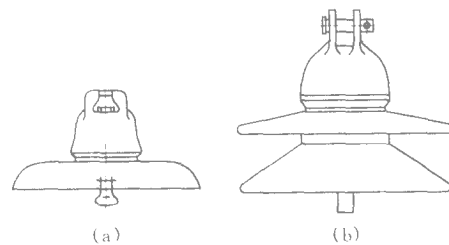


图 1-5 悬式绝缘子
(a) 普通球窝形；(b) 防污槽形

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。普通盘形悬式绝缘子型号及主要技术参数见表 1-1。

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就能满足设计

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导线的综合荷载很大时，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

表 1-1 普通形悬式绝缘子型号及技术参数

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

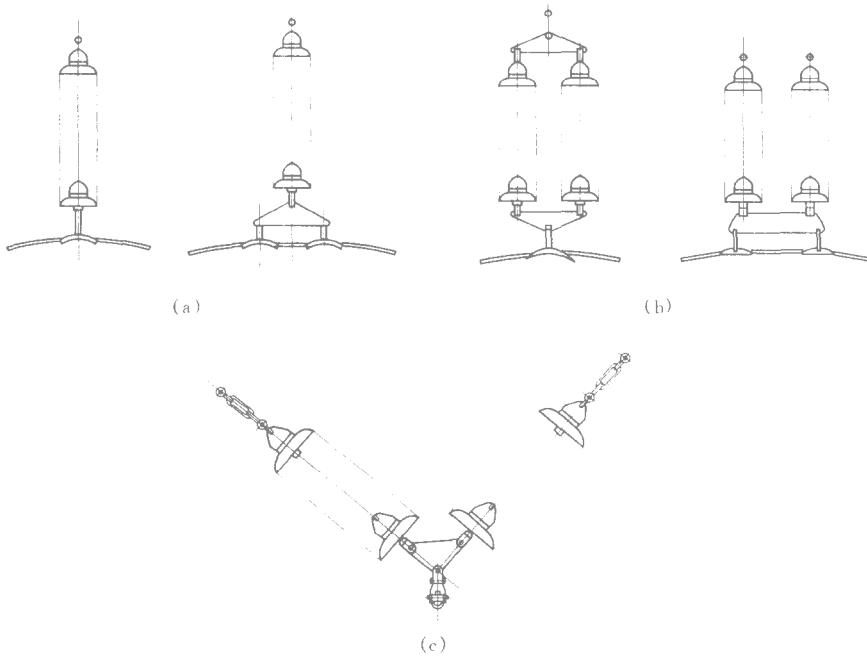


图 1-6 悬垂绝缘子串
(a) 单串；(b) 双串；(c) V 形

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。

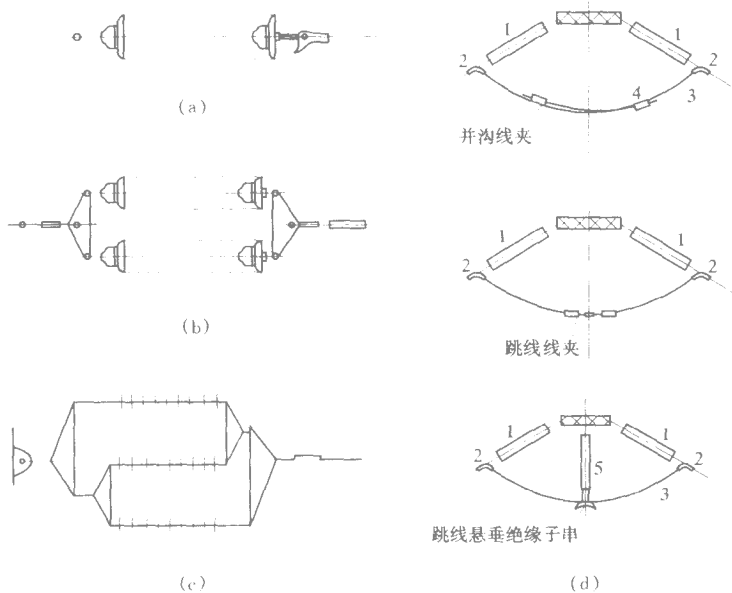


图 1-7 耐张绝缘子串

(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

(五) 棒形悬式合成绝缘子

1. 用途

棒形悬式合成绝缘子适用于高压输电线路，尤其用于污秽地区，能有效地防止污闪事故，是目前广泛使用的瓷绝缘子的换代产品。

2. 结构

合成绝缘子由伞盘、芯棒及金属端头三部分组成，对于 110kV 及以上的合成绝缘子配备 1~2 只均压环。如图 1-8、图 1-9 所示。

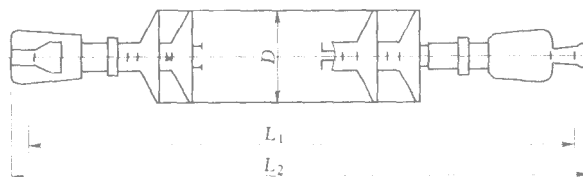
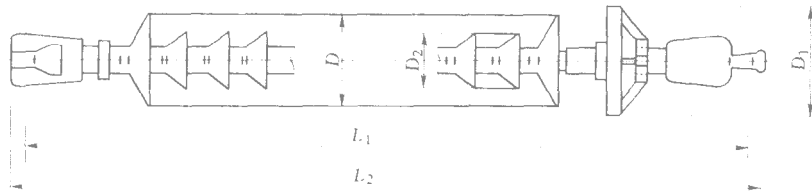


图 1-8 A 型棒式合成绝缘子

图 1-9 B₁ 型棒式合成绝缘子

3. 型号及含义

XSH— $\frac{A}{B}$ — $\frac{1}{2}$

结构型式
 额定电压(kV)
 额定机械负荷(kN)
 合成
 棒形(实心)
 悬式

注: 1. 字母 A、B 等表示伞盘配装形式, 且未装均压环;
 2. 字母角标 1 表示一端装均压环; 角标 2 表示两端装均压环。

4. 主要参数

- (1) 结构尺寸, 见表 1-2。
- (2) 机电性能, 见表 1-3。

表 1-2 结 构 尺 寸

型 号	泄漏比距 (cm/kV)	最小放电距离 (mm)	连接长度 L_1 (mm)	总体长度 L_2 (mm)	伞盘直径 D (mm)	均压环直径 D_2, D_1 (mm)
XSH-70-35A	3.15	450	685	706	110	—
XSH-70-66B	2.45	660	885	906	110-140	—
XSH-100-110B1	2.30	1000	1220	1240	110-140	— 250

表 1-3 机 电 性 能

型 号	额定机械负荷 (kN)	额定电压 (kV)	工频耐受电压 (kV)		工频闪络电压 (kV)		雷电冲击 耐受电压 (幅值)(kV)	50%全波冲击 闪络电压 (幅值)(kV)
			干	湿	干	湿		
XSH-70-35A	70	35	106	85	155	140	185	240
XSH-70-66B	70	66	175	150	230	210	325	325
XSH-100-110B1	100	110	280	215	350	320	450	540

(六) 金具

输电线路金具在架空输电线路中起着支持、固定、接续保护导线和避雷线的作用, 并且能使拉线紧固。金具的种类很多, 按照金具的性能及用途可分为线夹、连接金具、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，悬垂线夹型号标记的组成是：

A—带碗头挂板；B—带 U 形挂板；C—下垂式
 K—上扛式；T—提包式
 数字—适用导线组合号
 U—U 型螺丝；J—加强型；F—防晕，H—铝合金
 G—固定；S—双线夹；C—悬垂

如：CGU—固定型悬垂式线夹；CGF—防晕型悬垂线夹；CGH—铝合金悬垂线夹；CSH—加强型悬垂线夹。

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 1-10 所示。

悬垂线夹结构型式和尺寸如下

- (1) CGU 固定悬垂线夹型式和尺寸见图 1-11 及表 1-4 所示。
- (2) CGU 悬垂线夹（带碗头挂板）型式及尺寸见图 1-12 及表 1-5 所示
- (3) CGU 悬垂线夹（U 形挂板）型式及尺寸见图 1-13 及表 1-6 所示
- (4) CGF 防晕型下垂式悬垂线夹型式及尺寸见图 1-14 及表 1-7 所示
- (5) CGF 防晕型上扛式悬垂线夹型式及尺寸见图 1-15 及表 1-8 所示
- (6) CGJ 加强型悬垂线夹型式及尺寸见图 1-16 及表 1-9 所示

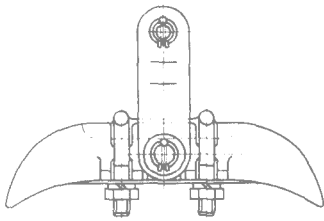


图 1-10 悬垂线夹

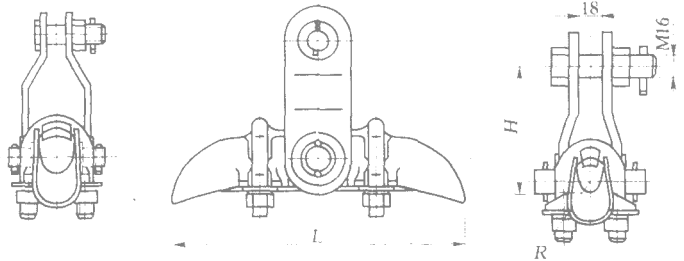


图 1-11 悬垂线夹型式示意图

表 1-4 CGU 固定型悬垂线夹尺寸

型 号	适用绞线直径范围 (包括加包缠物, mm)	主要尺寸 (mm)			标称破坏载荷 (kN)	参考重量 (kg)
		H	L	R		
CGU-1	5.0~7.0	82.5	180	4.0	40	1.4
CGU-2	7.1~13.0	82	200	7.0	40	1.8
CGU-3	13.1~21.0	101	220	11.0	40	2.0
CGU-4	21.1~26.0	109	250	13.5	40	3.0

表 1-5 CGU 固定型悬垂线夹 (带碗头挂板) 尺寸

型 号	适用绞线直径范围 (包括加包缠物, mm)	主要尺寸 (mm)			标称破坏载荷 (kN)	参考重量 (kg)
		H	L	R		
CGU—5A	23.0~33.0	157	300	17	70	5.7
CGU—6A	34.0~45.0	163	300	23	70	6.1

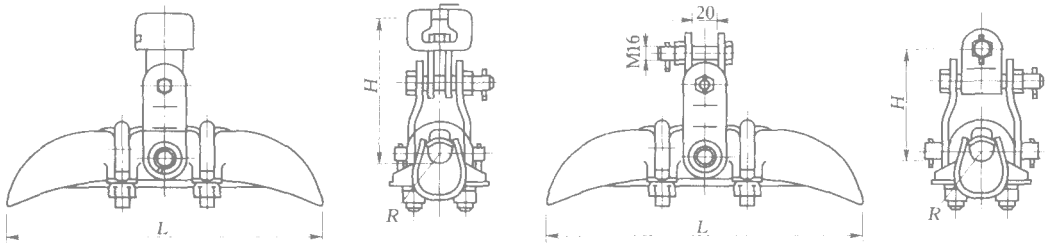


图 1-12 悬垂线夹 (带碗头挂板) 型式示意图

图 1-13 悬垂线夹 (带 U 形挂板) 型式示意图

表 1-6 CGU 固定式悬垂线夹 (带 U 形挂板) 尺寸

型 号	适用绞线直径范围 (包括加包缠物, mm)	主要尺寸 (mm)			标称破坏载荷 (kN)	参考重量 (kg)
		H	L	R		
CGU—5B	23.0~33.0	137	300	17	70	5.4
CGU—6B	34.0~45.0	130	300	23	70	5.8

表 1-7 CGF 防晕型下垂式悬垂线夹尺寸

型 号	适用绞线直径范围 (包括加包缠物, mm)	主要尺寸 (mm)				标称破坏载荷 (kN)	参考重量 (kg)
		C	H	L	R		
CGU—5C	24.2~33.0	18	147	300	17.0	70	3.55
CGU—6C	34.0~45.0	20	140	300	23.0	90	4.00

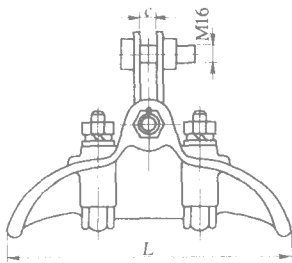


图 1-14 防晕型下垂式悬垂线夹型式示意图

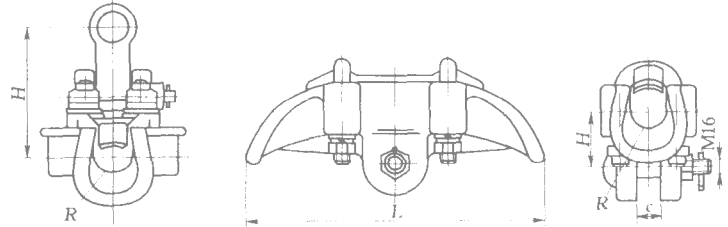


图 1-15 CGF 型式示意图

表 1-8 CGF 防晕型上打式悬垂线夹尺寸

型 号	适用绞线直径范围 (包括加包缠物, mm)	主要尺寸 (mm)				标称破坏载荷 (kN)	参考重量 (kg)
		C	H	L	R		
CGU—5K	24.2~33.0	24	50	300	17.0	70	2.38

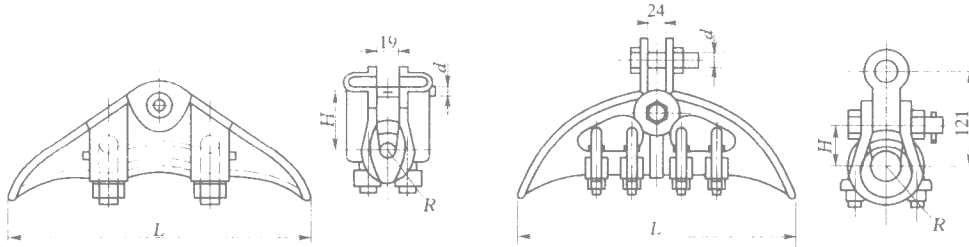


图 1-16 加强型悬垂线夹型式示意图

表 1-9 CGJ 加强型悬垂线夹尺寸

型 号	适用绞线直径范围 (包括加包缠物, mm)	主要尺寸 (mm)				标称破坏载荷 (kN)	参考重量 (kg)
		d	H	L	R		
CGJ—2	11.0~13.0	18	52	300	8	100	3.8
CGJ—5	23.0~43.0	22	56	390	22	120	9

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 1-17 (a)、(b) 所示。螺栓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组装成串, 并将绝缘子串连接、悬挂在杆塔横担上。悬垂线夹、耐张线夹与绝缘子串的连接, 拉线金具与杆塔的连接, 均要使用连接金具根据使用条件, 分为专用连接金具和通用连接金具两大类

专用连接金具用于绝缘子串, 其连接部位的结构和尺寸必须与绝缘子相同。线路上常用的专用连接金具有球头挂环和碗头挂板, 球头挂环如图 1-18 (a) 所示, 碗头挂板如图 1-18 (b) 所示, 分别用于连接悬式绝缘子上端钢帽及下端钢脚。

通用连接金具适用于各种情况下的连接, 以荷重大小划分等级, 荷重相同的金具有互换性。线路上常用的通用连接金具有直角挂板、U形挂板环、二联板等, 如图 1-18 (c)、(d)、(e) 所示。

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 XI—60 型绝缘子所配金具的破坏荷载不小于 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

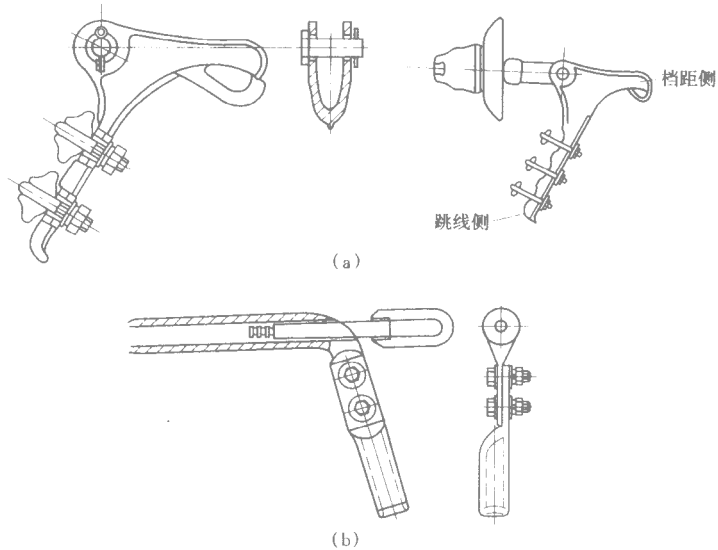


图 1-17 耐张线夹

(a) 螺栓型耐张线夹；(b) 压缩型耐张线夹

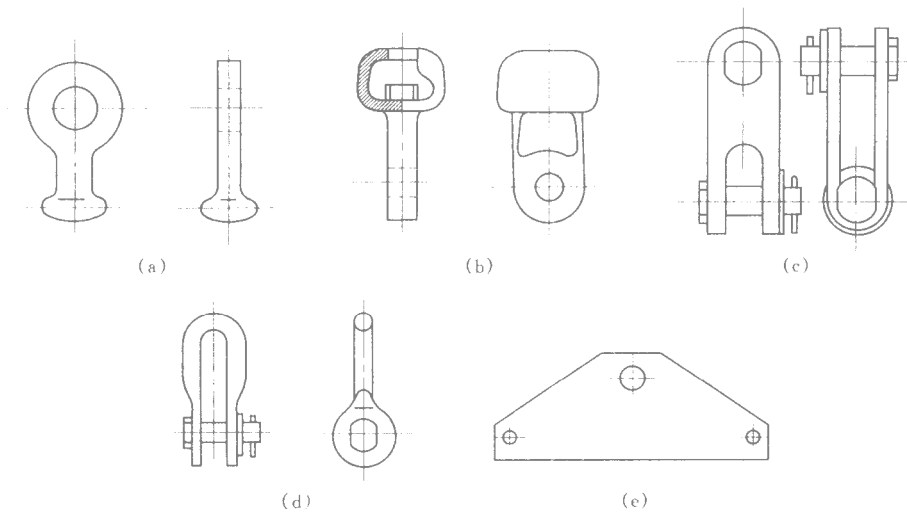


图 1-18 连接金具

(a) 球形挂环；(b) 碗头挂板；(c) 直角挂板；(d) U形挂环；(e) 三联板

3. 接续金具

接续金具用于连接导线及避雷线终端，接续非直线杆塔的跳线及补修损伤断股的导线或避雷线。

架空线路常用的连接金具有钳接管、压板管、补修管、并沟线夹及跳线夹等。

导线本身连接时，当其截面为 240mm^2 可采用钳接管连接，如图 1-19 (a) 所示。若导线截面为 300mm^2 及以上时，因其导线张力较大，如仍采用钳接管连接，其连接强度不能满足要求，故应采用压接管连接，如图 1-19 (b) 所示用压接管连接导线时，先用

钢管将导线的钢芯压接连接，然后将导线外部套入铝管压接。避雷线采用钢绞线，无论截面大小均采用钢压接管用压接方法连接，如图 1-19 (c) 所示。

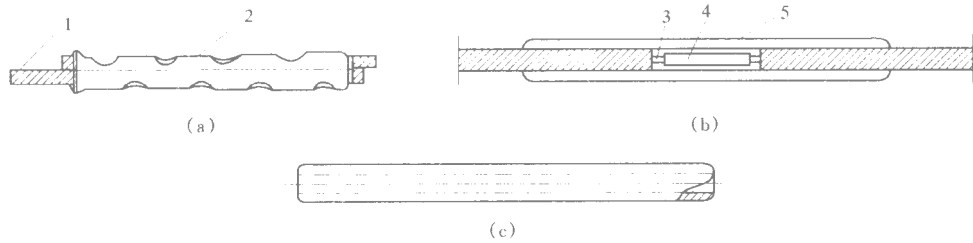


图 1-19 接续金具

(a) 导线用钳接管连接；(b) 导线用压接管连接；(c) 连接钢绞线用钢压接管
1—导线；2—钳接管；3—导线钢芯；4—钢管；5—铝管

4. 保护金具

保护金具分为机械和电气两大类。机械类保护金具是为了防止导线、避雷线因受振而造成断股。电气类保护金具是为防止绝缘子因电压分布不均匀而过早损坏。

线路上常用的保护金具有防振锤、护线条、间隔棒、均压环、屏蔽环等保护金具如图 1-20~图 1-22 所示。

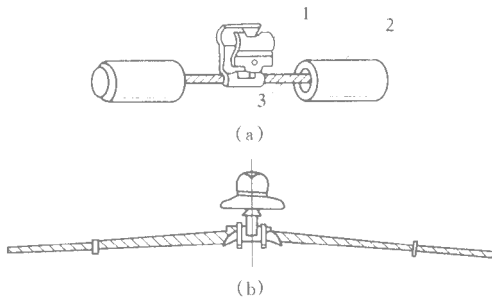


图 1-20 防振锤和护线条

(a) 防振锤；(b) 护线条
1—夹板；2—铸铁锤头；3—钢绞线

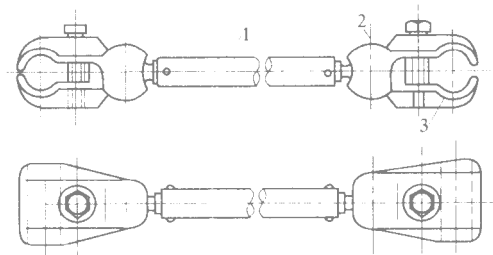


图 1-21 间隔棒

1—无缝钢管；2—间隔棒线夹；3—压舌

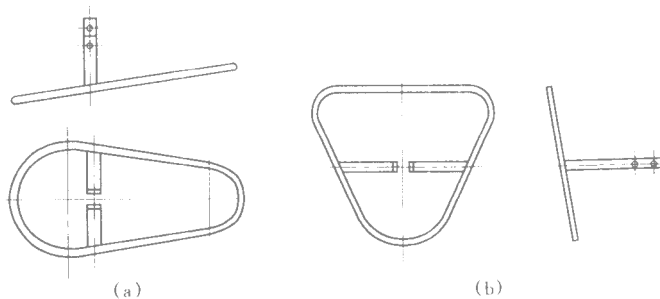


图 1-22 均压环及屏蔽环外形图

(a) 均压环；(b) 屏蔽环

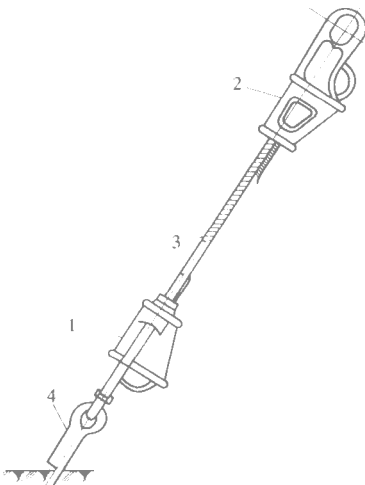


图 1-23 拉线的连接方法
1—可调式 UT 型线夹；2—楔子线夹；
3—拉线；4—拉线棒

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，包括从杆塔顶端引至地面拉线之间的所有零件。根据使用条件，拉线金具可分为紧线、调节及连接三类。紧线零件用于紧固拉线端部，与拉线直接接触，必须有足够的握着力。调节零件用于调节拉线的松紧。连接零件用于拉线组装。

线路上常用的拉线金具有楔型线夹、UT 型线夹、拉线用 U 形环、钢线卡子等。拉线的连接方法如图 1-23 所示。

(七) 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 1-24 所示形式的钢筋混

凝土制板——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 1-10。

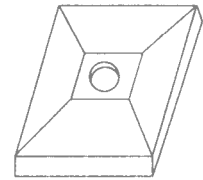
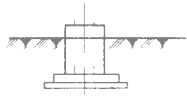
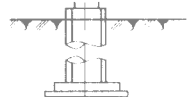
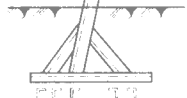


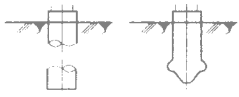
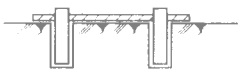
图 1-24 电杆底盘

表 1-10

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	

续表

类 型	适 用 范 围	示 意 图
浇注式基础	跨河流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

架空输电线路一般沿途需翻山越岭、跨江过河，既要经受严寒酷暑，还要承受风霜雨有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、杆塔等接地的距离。第三，导线在稳定的微风作用下将引起振动；在稳定的中速风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搜集、积累沿线风速资料。但应注意，若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，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 1-11 估计风速大小。

2. 覆冰厚度

输电线路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人引起断线、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增大造成与被跨越物或对地距离变小，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，往往正是气候恶劣、冰雪封山、通信中断、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。

表 1-11

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, 但风向不能转动	0.3~1.5
2	轻风	树叶及微风摇动不息, 旌旗展开	1.6~3.3
3	微风	人面感觉有风, 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	大树枝摇摆, 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, 很大规模的破坏	大于 32.6

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 $5 \sim 15\text{m/s}$ 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。如平原的突起高地、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。

输电线路设计时覆冰按等厚中空圆形考虑, 其密度取 0.9g/cm^3 , 且取 15 年一遇的最大值。然而实际覆冰断面可能是各种不规则形状, 可用下面两种常用方法换算。

(1) 测水重法。如果将试样长度为 L 的冰层全部收集起来, 待冰融化后称其重量为 G , 则换算标准状态的冰层厚度为

$$b = \sqrt{R^2 + \frac{G \times 10^3}{\pi \rho L}} - R \quad (1-1)$$

式中 b ——标准覆冰厚度, mm;

R ——无冰架空线的半径, mm;

G ——试样冰层融化后的质量, kg;

ρ ——冰的标准比重, 取 $\rho = 0.9, \text{g/cm}^3$ 。

(2) 测总重法。测每米覆冰架空线试样的总质量, 算出标准状态的冰层厚度为

$$b = \sqrt{R^2 + \frac{(G_2 - G_1) \times 10^3}{\pi \rho}} - R \quad (1-2)$$

式中 G_2 ——每米覆冰架空线的总质量, kg/m;

G_1 ——每米无冰架空线的质量，kg/m；

其他符号意义同(1-1)。

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，输电线路所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，应力增加越大，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“组合气象条件”。气象条件一般常用的组合有九种：最高气温、最低气温、年平均气温、最大风速、最大覆冰、内过电压（操作过电压）、外过电压（大气过电压），以及安装情况和事故断线情况。

为了设计、制造上的标准化和统一，根据我国不同地区的气象情况和多年的运行经验，我国各主要地区组合后的气象条件归纳为九个典型气象区，其气象参数的组合见表 1-12。

表 1-12 全国典型气象区气象参数

气象区		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
大气温度 (°C)	最高	+40								
	最低	-5	-10	-10	-20	-10	-20	-40	20	-20
	覆冰	-5								
	最大风速	+10	+10	5	-5	+10	-5	-5	-5	-5
	安装情况	0	0	-5	-10	-5	-10	-15	-10	-10
风 速 (m/s)	外过电压	+15								
	内过电压	+20	+15	+15	+10	+15	+10	-5	+10	+10
	最大风速	35	30	25	25	30	25	30	30	30
	覆冰	10							15	
	安装情况	10								
	外过电压	15	10							
	内过电压	0.5 × 最大风速 (不低于 15m/s)								
覆冰厚度 (mm)		0	5	5	5	10	10	10	15	20
冰的比重 (g/cm ³)		0.9								

注 表中数值适用于 35 ~ 110kV 线路。

由于我国幅员辽阔，气象情况复杂，九个典型气象区不能完全包括，所以各大区、甚至各省区又根据本地区的气象特点，划分出本地区的典型气象区。在实际使用中，总是将线路沿线实际气象数据与典型气象区相比较，采用其中最接近的某一典型气象区数值。

(三) 气象条件的换算

在进行输电线路计算时，需将收集到的风速、覆冰厚度等气象条件资料进行换算，经过换算确定出设计用气象条件。

最大风速的选取按下面方法进行：

由于气流和地面的摩擦，风速沿高度的分布是不均匀的，离地面越高，风速越大，所以从气象站收集到的风速值与风速仪的安装高度有关，另外风速的测记方式不同，得到的风速数值也不同。

我国《架空线路技术规程》规定，设计风速是指离地面 15m 高处若于年一遇的连续自记 10min 的平均风速。所以需要将收集到的风速进行一些换算才能得到最大风速。

(1) 次时换算。将风速仪高度为 h 的四次定时，时距 2min 的平均风速 V_2 ，换算为高度仍为 h 时的连续自记 10min 的平均风速 V_h ，其换算公式见表 1-13。

表 1-13 四次定时时距 2min 平均风速与自记 10min 平均风速的换算公式

地区	计算公式	应用范围
华北	$V_h = 0.882V_2 + 7.82$	北京、天津、河北、山西、湖南、内蒙古、陕西
东北	$V_h = 1.04V_2 + 3.2$	辽宁、吉林、黑龙江
西北	$V_h = 1.004V_2 + 2.57$	陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏
西南	$V_h = 0.882V_2 + 7.82$	贵州
云南	$V_h = 0.625V_2 + 8.04$	
四川	$V_h = 1.25V_2$	
湖北	$V_h = 0.732V_2 + 7.0$	湖北、江西
湖南	$V_h = 0.68V_2 + 9.54$	
广东	$V_h = 1.03V_2 + 4.15$	广东、广西、福建
江苏	$V_h = 0.78V_2 + 8.41$	上海、江苏
山东	$V_h = 1.03V_2 + 3.76$	山东、安徽
浙江	$V_h = 1.26V_2 + 0.53$	

(2) 高度换算。风速仪的安装高度不一定是 15m，因此需将风速仪安装高度为 h 时的连续自记 10min 的平均风速 V_h ，换算为离地面 15m 时的连续自记 10min 的平均风速 V_{15} ，一般可按下式计算

$$V_{15} = k_0 V_h \quad (1-3)$$

式中 V_{15} 距地面高度为 15m，连续自记 10min 的平均风速，m/s；

V_h 距地面高度为 h m 处的连续自记 10min 的平均风速，m/s；

k_0 ——风速高度换算系数，见表 1-14 所示

表 1-14 风速高度换算系数

风仪高度 h (m)	8	10	12	14	15	16	18
k_0	1.111	1.101	1.036	1.0106	1.0	0.99	0.976
风仪高度 h (m)	20	22	24	26	28	30	
k_0	0.956	0.942	0.93	0.92	0.908	0.90	

(3) 最大风速的选定。《架空线路技术规程》规定，线路应按其重要程度的不同，分别考虑最大风速的重现期，对 35~110kV 线路，应采用 15 年一遇。重现期越长，说明该风速越稀少，即风速越大。

最大风速的选取，是根据历年资料的最大风速值经过次时、高度换算后，可以用比较简单方便的“经验频率法”确定其计算公式为

$$P = \frac{m}{n + 1} \quad (1-4)$$

式中 P ——最大风速出现的频率；

n ——统计风速的总次数；

m ——将统计年份内出现的全部最大风速值由小到大按递减顺序列表编号（风速数值不论是否相同都须占一个编号），则序号即该风速的 m 值。

二、合理地选择导线的型式、截面和应力

(一) 导线型式

根据导线的作用，制作导线的材料应选择导电率高、耐热性能好、具有一定的机械强度，且重量轻、制造方便、价格低廉。因此，常用的材料有铜、铝、钢等。由于铜的价格较贵，架空输电线路一般不采用铜线。铝导电性能好，但机械强度低，而钢机械强度高，但导电性能较差，所以导线一般制成以铝作为主要材料的钢芯铝绞线。目前列入国家标准的导线型号和名称见表 1-15。

表 1-15 导线型号和名称

型号	名称	型号	名称
LJ	铝绞线	LGJF	防腐型钢芯铝绞线
LGJ	钢芯铝绞线	GJ	钢绞线

铝绞线由多股铝线绞合而成。由于铝的机械强度低，允许拉力小，所以档距不能放得很大；如果档距较大，为保证导线对地距离的要求，则需增加杆塔高度。所以，铝绞线多用于电压低、档距小的配电线路。

钢芯铝绞线的结构形式是在镀锌钢绞线的外层再扭绞若干层铝股线。由于交流电的集肤效应，电流的大部分集中在导线外层通过，导线中心基本不通过电流，所以钢芯铝绞线外层采用导电性能好的铝，内层采用机械强度高的钢，从而充分利用了两种材料的优点。

如在钢芯铝绞线的某一层间均匀地涂敷防腐材料，即为防腐型钢芯铝绞线，它具有对