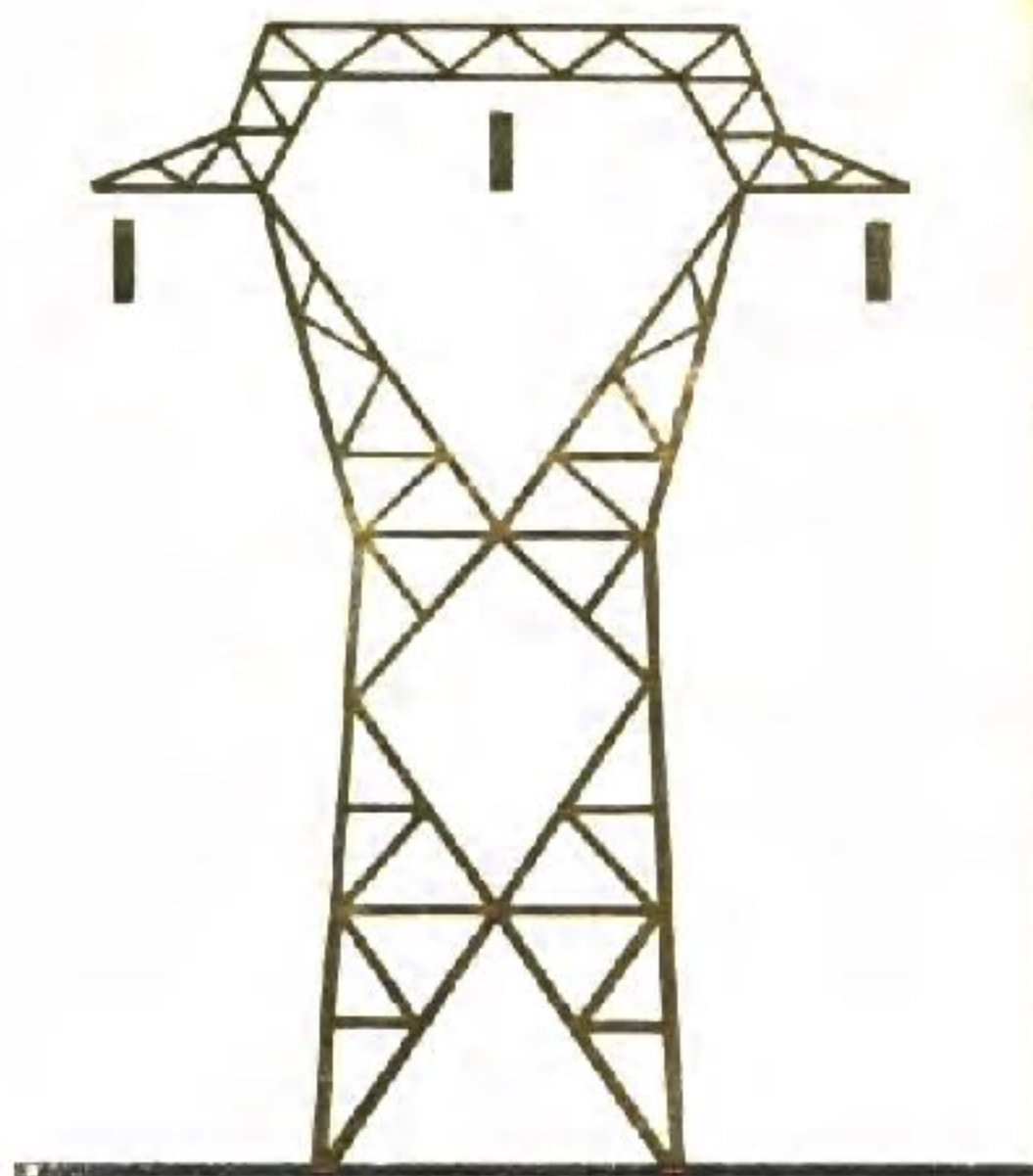


周 振 山



高压架空送电线路 机械计算

内 容 提 要

本书共分两篇，分别讨论架空线和杆塔在设计、施工和运行中的机械计算问题。第一篇介绍导线和避雷线在悬点等高档距、小高差档距、大高差档距以及特殊档距中的力学计算；弧垂调整、过牵引计算，不平衡张力计算，多档连紧、地面划印法等施工计算和运行中的线路改造计算等。第二篇介绍电杆和铁塔的选择、验算，排定杆塔位置以及电杆整体起立等机械计算等。

本书概括了高压架空送电线路设计、施工及线路改造的机械计算的主要内容。为便于读者掌握计算方法，每章均有例题。

本书除可供中等专业学校及技工学校输配电专业的师生使用外，还可作为有关专业工程技术人员、技术工人的参考用书。

高压架空送电线路机械计算

周 振 山

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21印张 478千字

1984年10月第一版 1984年10月北京第一次印刷

印数 00001—16700册 定价 3.25元

书号 15143·5354

前 言

本书曾作为中等专业学校“输配电”专业的教材，一九七四年陕西省汉中电业局内部铅印，并经有关单位试用。该书适用于输配电专业的教学和生产，并可供广大青工在实际工作中进行自学和参考。

根据生产发展的需要和教学上的要求，这次在原书的基础上，进行了修改，并充实了送电线路施工的主要机械计算内容。修改的主要依据是现行的《架空送电线路设计技术规程》，同时参考了东北电力设计院所编《高压送电线路设计手册》，李博之同志编写的《高压架空输电线路施工技术手册》（架线工程部分），官其斌同志编写的《关于架空线路的改建问题》，李庆林同志编写的《高压送电线路地面划印施工架线》，顾祖德同志所写《混凝土杆整体起吊施工设计》以及王文元同志编写的《输电线路施工与运行》等。原书曾经西北电力设计院、西北电管局设计处、西安送变电工程处和陕西省汉中电业局等单位审稿，这次修改过程中，又得到华东电力建设局、华东电管局输电处、西北电力设计院、西北电管局设计处等单位提供资料。在此，特向上述单位及有关同志给予的指导和帮助表示感谢。

诚恳希望广大读者对本书的缺点和错误批评指正。

编 者

1983年9月

目 录

前 言

第一篇 导线、避雷线部分

第一章 基本知识	1
第一节 导线和避雷线	2
第二节 导线的排列与换位	7
第三节 杆塔	9
第四节 绝缘子	11
第五节 常用金具	15
第二章 线路设计用气象条件	17
第一节 概述	17
第二节 设计用气象条件的选取	17
第三节 设计用气象条件的组合及典型气象区	22
第三章 架空线比载的计算	24
第四章 架空线的振动与防振	29
第一节 概述	29
第二节 风振动的特性与影响因素	30
第三节 防振措施	33
第五章 悬点等高档距中架空线的计算	39
第一节 线长与弧垂的计算	39
第二节 架空线各点应力间的关系	42
第三节 架空线强度许用应力的计算	43
第四节 状态方程式	44
第五节 状态方程式的解法	45
第六节 临界档距	46
第七节 导线机械计算的程序	48
第八节 最大弧垂的判定	50
第九节 代表档距	52
第十节 考虑耐振条件时架空线的计算	53
第十一节 避雷线最大使用应力的计算	57
第十二节 安装曲线与应力弧垂曲线	59
第六章 悬点不等高档距中架空线的计算	64
第一节 小高差档距中架空线的计算	64
第二节 水平档距与垂直档距的计算	65
第三节 上拔计算	66
第四节 小高差档距的弧垂用平抛物线法计算的特点	67

第五节 大高差档距中架空线的计算	69
第六节 允许档距	75
第七章 特殊档距中架空线的计算	76
第一节 孤立档中架空线的计算	76
第二节 飞车和架空索道的计算	79
第三节 交叉跨越档距中限距的校验	82
第四节 连续倾斜档距中架空线的计算	86
第八章 架空线在施工与运行中的计算	91
第一节 弧垂观测与调整	91
第二节 运行线路的弧垂调整计算	94
第三节 架空线的过牵引计算	96
第四节 架空线的多档连紧法施工计算	97
第五节 架空线的地面划印法施工计算	98
第六节 跳线安装长度的确定	100
第七节 架空线路的改建	102
第九章 断线张力计算	105
第一节 概述	105
第二节 固定型横担线路断线张力图解法	106
第三节 固定型横担线路断线张力的衰减系数法	111
第四节 转动型横担线路断线张力图解法	113
第五节 分裂导线线路断线张力图解法	117
第十章 不平衡张力与避雷线支持力	119
第一节 不均匀复冰或不同时脱冰时, 架空线不平衡张力的计算	119
第二节 档距、高差悬殊时不平衡张力的计算	129
第三节 避雷线支持力的计算	131

第二篇 杆 塔 部 分

第一章 杆塔的外形尺寸与荷载	137
第一节 概述	137
第二节 杆塔呼称高与设计档距	137
第三节 杆塔头部尺寸的确定	139
第四节 杆塔荷载	152
第二章 环形截面钢筋混凝土电杆构件的强度计算	163
第一节 钢筋混凝土	163
第二节 普通钢筋混凝土电杆构件的强度计算	167
第三节 预应力混凝土电杆的强度计算	176
第三章 钢筋混凝土电杆	182
第一节 常用杆型介绍	183
第二节 单柱直线杆计算	188
第三节 拉线单柱直线杆计算	197

第四节 门型直线杆计算	204
第五节 带V型拉线的门型直线杆计算	211
第六节 耐张型电杆计算	213
第七节 电杆横担计算	226
第四章 铁塔	236
第一节 概述	236
第二节 铁塔结构	238
第三节 铁塔内力计算	240
第五章 杆塔基础	260
第一节 概述	260
第二节 被动土抗力计算	265
第三节 倾复基础计算	268
第四节 上拔基础计算	275
第五节 下压基础计算	280
第六节 特殊基础和特殊地带基础	287
第六章 架空送电线路的选线与定位	287
第一节 路径的选定	287
第二节 平面图和断面图	289
第三节 送电线路杆塔位置的排定	291
第四节 杆塔定位校验	294
第五节 杆塔中心位移	303
第六节 施工基面的确定	305
第七节 室外定位	305
第八节 一次勘测定位	306
第七章 整体立杆	307
第一节 整体立杆受力计算	307
第二节 吊点的确定	313
第三节 工器具选择	323
第四节 整体立杆过程中的注意事项	329

第一篇 导线、避雷线部分

第一章 基本知识

电力系统中发电厂的位置，决定于动力资源的分布、运输的条件和工农业用户的分布等。若发电厂建在用户端，则需由能源基地向发电厂运输燃料（煤、石油等）；若发电厂建在能源基地，则需由发电厂向用户中心输送电能。通过经济比较表明，不论距离远近，输送电能都比输送燃料经济，因此，现代大型电厂，均在能源基地建厂，然后用高压送电线路向用户中心输送电能。

由发电厂向电力用户中心输送电能的线路称为送电线路；由电力用户中心向电力用户分配电能的线路，称为配电线路。送配电线路通称为电力线路，它按结构又有架空线路和电缆线路之分。架空线路使用广泛，因为它比电缆线路具有一些显著的优点，例如：建设费用低，施工期短，技术要求较低，维护检修方便，节省有色金属等。所以除了特殊情况（如地面狭窄而线路拥挤或有特殊要求等）外，应尽先采用架空线路。

架空送电线路机械部分的计算内容，包括架空送电线路的导线和避雷线的机械计算、杆塔及其基础的计算、线路选线与杆塔定位以及施工计算等。计算的目的在于保证架空线路运行的可靠性和建设的经济性。

架空送电线路由导线、避雷线（或称架空地线、简称地线）、电杆（杆塔）、绝缘子串和金具（图中未画出）等主要元件组成，如图 1-1-1 所示。它们的作用是：

- （1）导线用来传导电流，输送电能；
- （2）避雷线是把雷电流引入大地，以保护线路绝缘免遭大气过电压的破坏；
- （3）杆塔用来支持导线和避雷线，并使导线和导线间，导线和避雷线间，导线和杆塔间以及导线和大地、公路、铁轨、水面、通讯线等被跨越物之间，保持一定的安全距离；
- （4）绝缘子是用来使导线和杆塔之间保持绝缘状态；
- （5）金具是用来连接导线或避雷线，将导线固定在绝缘子上，以及将绝缘子固定在杆塔上等的金属元件。

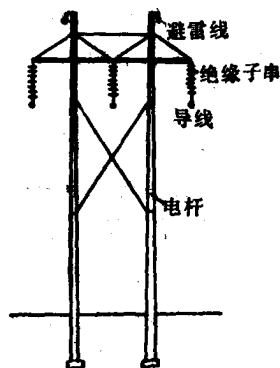


图 1-1-1 架空线路的主要元件

第一节 导线和避雷线

一、导线

架空线路的导线，除应具有良好的导电率外，还应具有以下的特点：机械强度高、坚硬耐磨、质韧耐折、抗蚀性较好及质轻价廉等。这些要求是根据线路的不同情况而占有不同的比重。

架空线路常用的导线材料是铜、铝、钢、铝合金等。各种导线材料的物理特性见表1-1所示。

表 1-1 导线材料的物理特性

材 料	20°C时的电阻率 (欧·毫米 ² /米)	比 重 (克/厘米 ³)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	抗化学腐蚀能力及其它
铜	0.0182	8.9	39	表面易形成氧化膜，抗腐蚀能力强
铝	0.029	2.7	16	表面氧化膜可防继续氧化，但易受酸碱盐的腐蚀
钢	0.103	7.85	120	在空气中易锈蚀，须镀锌
铝 合 金	0.0339	2.7	30	抗化学腐蚀性能好，受振动时易损坏

由表1-1-1可见，铜是比较理想的导线材料，但由于铜相对于其它金属来说用途较广而产量较少，因此，架空线路的导线，除特殊需要者外，一般都不采用铜线。

铝的导电率仅次于铜。铝是地球上存在最多的元素之一，它稍逊于氧、硅而居第三位。铝的比重小，采用铝线时杆塔受力较小。但铝的机械强度低，允许应力小，导线放松时的下垂度（称为弛度或弧垂）较大，导致杆塔高度增加。所以，铝导线只用在档距（相邻杆塔间的水平距离）较小的10千伏及以下的线路。对于档距较大电压较高的线路，则需用铝和其它金属配合，以提高导线的机械强度。此外，铝的抗酸、碱、盐的能力较差，故沿海地区和化工厂附近不宜采用。

上表中钢的导电率是最低的，但它的机械强度很高，且价格较有色金属低廉，在线路跨越山谷、江河等特大档距中有时采用钢导线。钢线需要镀锌以防锈蚀。

铝合金线的导电率与铝相近，机械强度与铜相近，价格却比铜低，抗化学腐蚀性能好，但铝合金受振动而断股的现象却很严重。近年来，国内外在使用铝合金线方面，有较大进展，不过，铝合金导线的防振措施仍在研究中。

架空线路一般都是用裸导线敷设的。裸导线按结构可分为三种（参见图1-1-2）：

- (1) 单股线；
- (2) 单金属多股绞线；
- (3) 复金属多股绞线（包括钢芯铝绞线、扩径钢芯铝绞线、空心导线、钢铝混绞线、钢芯铝包钢绞线、铝包钢绞线、分裂导线）。

若架空线路的输送功率大，导线截面大，对导线的机械强度要求高，而多股单金属铝

绞线的机械强度仍不能满足要求时，则把铝和钢两种材料结合起来制成钢芯铝绞线，其不仅有较好的机械强度，且有较高的电导率。由于交流电的趋肤效应，使铝线截面的载流作用得到充分的利用，而其所承受的机械荷载则由钢芯和铝线共同负担。这样，既发挥了两种材料的各自优点，又补偿了它们各自的缺点。因此，钢芯铝线被广泛地应用在 35 千伏及以上的线路中。

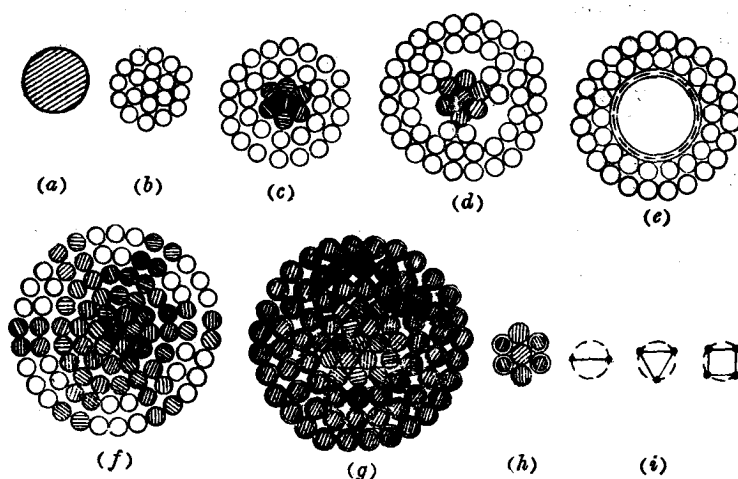


图 1-1-2 架空线路各种导线和避雷线断面图

(a) 单股导线；(b) 单金属多股绞线；(c) 钢芯铝绞线；(d) 扩径钢芯铝绞线；(e) 空心导线（腔中为蛇形管）；(f) 钢铝混绞线；(g) 钢芯铝包钢绞线；(h) 铝包钢绞线避雷线；(i) 分裂导线

架空线路导线的型号，是用导线材料、结构和载流截面积三部分表示的。导线的材料和结构用汉语拼音字母表示。如：T——铜线；L——铝线；G——钢线；J——多股绞线；TJ——铜绞线；LJ——铝绞线；GJ——钢绞线；HLJ——铝合金绞线；LGJ——钢芯铝绞线。导线截面用平方毫米为单位。如 LGJ-120——标称截面为 120 平方毫米的钢芯铝绞线。

钢芯铝绞线简称钢芯铝线，按铝钢截面比的不同，又分为三种类型：

第一种是普通型钢芯铝线，代号为 LGJ，其铝钢截面比为 5.3~6.1，

第二种是轻型钢芯铝线，代号为 LGJQ，其铝钢截面比约为 7.6~8.3，

第三种是加强型钢芯铝线，代号为 LGJJ，其铝钢截面比约为 4~4.5。

普通型和轻型钢芯铝线，用于一般地区；加强型钢芯铝线，用于重冰区或大跨越地段。

为了减小电晕以降低损耗和对无线电、电视等的干扰以及为了减小电抗以提高线路的输送能力，高压和超高压送电线路的导线，应采用扩径导线，空心导线或分裂导线。因扩径导线（图 1-1-2，d）和空心导线（图 1-1-2，e）制造和安装不便，故送电线路多采用分裂导线（图 1-1-2，i）。分裂导线每相分裂的根数一般为 2~4 根，正在研究使用的 1000~

1500千伏的特高压送电线路，国外将考虑采取多至12根的分裂导线。

分裂导线由数根导线组成一相，每一根导线称为次导线，两根次导线间的距离称为次线间距离，一个档距中，一般每隔30~80米装一个间隔棒，使次导线间保持次线间距离，两相邻间隔棒间的水平距离称为次档距。

在一些线路的特大跨越档距中，为了降低杆塔高度，要求导线具有很高的抗拉强度和耐振强度，国内外特大跨越档距，一般用强拉力钢绞线，但也有用加强型钢芯铝线和特制的钢铝混绞线和钢芯铝包钢绞线的（如图1-1-2，f及g所示）。我国某220千伏线路中的一个跨越档的导线采用了GLGJ-38/19型钢芯铝包钢绞线，另一跨越档则采用了LGJJ-300加强型钢芯铝绞线，既满足了送电量和机械强度的要求，又获得造价低和运行费少的经济效益。

二、避雷线

避雷线一般多采用钢绞线，但近年来，在超高压送电线路上有采用良导体作避雷线的趋势。避雷线一般都是通过杆塔接地，但也有采用所谓“绝缘避雷线”的。绝缘避雷线即采用带有放电间隙的绝缘子把避雷线和杆塔绝缘起来，雷击时利用放电间隙引雷电流入地。这样做对防雷作用毫无影响，而且还能利用避雷线作载流线；用于避雷线熔冰；作为载波通讯的通道；在线路检修时，可作为电动机的电源；此外还可对小功率用户供电等。绝缘避雷线还可减小避雷线中由感应电流而引起的附加电能损耗。

对超高压和特高压送电线路，为了减小其对邻近的通讯线路的危险影响和干扰影响，以及降低超高压线路的潜供电流，常用铝包钢绞线或其他有色金属线作绝缘避雷线。

110千伏及以上的送电线路，应沿全线架设避雷线；经过山区的220千伏输电线路，宜采用双避雷线；330千伏及以上的送电线路，应沿全线架设双避雷线；对于不沿全线架设避雷线的35~60千伏线路，应在变电所1~2公里的进出线上架设避雷线，以防护导线及变电所设备免遭直接雷击。

避雷线的型号一般配合导线截面进行选择，其配合表见表1-1-2。

各种常用架空线导和避雷线的规格见表1-1-3及表1-1-4。

表 1-1-2

常用导线与避雷线配合表

导 线 型 号	LGJ-35	LGJ-95	LGJ-210	LGJ-400
	LGJ-50	LGJ-120	LGJ-240	
	LGJ-70	LGJ-150	LGJ-300	LGJ-500及以上
		LGJ-185	LGJQ-300	
			LGJQ-400	
避 雷 线 型 号	GJ-25	GJ-35	GJ-50	GJ-70

表 1-1-3 各种常用架空线的规格 (现行国家标准GB1179-74)

标 称 截 面 (毫米 ²)		导 线 型 号																			
		LJ型				LGJ型				LGJQ型				LGJJ型				GJ型			
		股 数	计 算 外 径 (毫米)	计 算 截 面 (毫米 ²)	单 位 重 量 (公斤/ 公里)	股 数	计 算 外 径 (毫米)	计 算 截 面 (毫米 ²)	单 位 重 量 (公斤/ 公里)	股 数	计 算 外 径 (毫米)	计 算 截 面 (毫米 ²)	单 位 重 量 (公斤/ 公里)	股 数	计 算 外 径 (毫米)	计 算 截 面 (毫米 ²)	单 位 重 量 (公斤/ 公里)				
																		铝	钢	铝	钢
10	3	4.46	10.10	27.6	6	1	4.5	12.37	42.9												
16	7	5.10	15.89	43.5	6	1	5.4	17.81	61.7												
25	7	6.36	24.71	67.6	6	1	6.6	26.6	92.2												
35	7	7.50	34.36	94.0	6	1	8.4	43.1	149												
50	7	9.00	49.48	135	6	1	9.6	56.3	195												
70	7	10.65	69.29	190	6	1	11.4	79.4	275												
95	19	12.50	93.27	257	28	7	13.68	112.04	401												
95(1)	7	12.42	94.23	258	7	7	13.68	112.04	398												
120	19	14.00	116.99	323	28	7	15.2	138.3	495												
120(1)					7	7	15.2	138.3	492												
150	19	15.75	148.07	409	28	7	16.72	167.4	598	24	7	16.44	161.4	537	30	7	17.5	181.6	677		
185	19	17.50	182.80	504	28	7	19.02	216.8	774	24	7	18.24	198.5	661	30	7	19.6	227.8	850		
240	19	19.90	236.38	652	28	7	21.28	271.1	969	24	7	21.88	285.6	951	30	7	22.4	297.6	1110		
300	37	22.40	297.57	822	28	19	25.2	377.2	1348	54	7	23.7	335.0	1116	30	19	25.68	389.6	1446		
300(1)										24	7	23.72	335.7	1117							
400	37	25.90	397.83	1099	28	19	27.68	454.6	1626	54	7	27.36	446.6	1487	30	19	29.18	502.99	1868		
400(1)										24	7	27.4	448.3	1491							
500	37	28.98	498.97	1376						54	19	30.16	538.5	1795							
600	61	31.95	603.78	1669						54	19	33.2	652.8	2175							
700										54	19	36.24	778.2	2592							

第二节 导线的排列与换位

导线在单回路杆塔上的排列方式有水平排列、三角形排列等。双回路同塔架设时，有伞形排列、倒伞形排列、六角形排列以及双三角形排列等。各种排列方式的示意图见图 1-1-3。

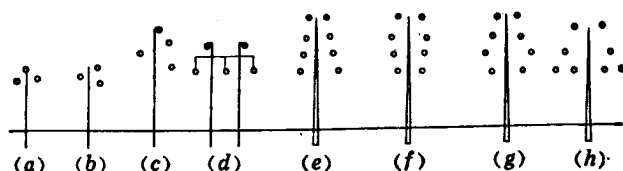


图 1-1-3 导线和避雷线在杆塔上的排列方式

●—避雷线；○—导线

选择导线的排列方式时，主要看其对线路运行的可靠性，对维护检修是否方便，能否减轻杆塔结构。运行经验表明，三角形排列的可靠性较水平排列差，特别是在重冰区、多雷区和电晕严重地区，这是因为下层导线在因故向上跃起时，易发生相间闪络和上下层导线碰线故障，且水平排列的杆塔高度较低，可减少雷击的机会。但水平排列的杆塔结构上比三角形排列者复杂，使杆塔投资增大。

因此，一般说来，对于重冰区，多雷区的单回线路，导线应采用水平排列。对于其余地区可结合线路的具体情况采用水平或三角形排列。从经济观点出发，电压在 220 千伏以下，导线截面不特别大的单回线路，宜采用三角形排列。对双回线路的杆塔，倒伞形排列（见图 1-1-3f）的优点是便于施工和检修，但它的缺点是防雷差，故目前多采用六角形排列（见图 1-1-3g）。

导线的各种排列方式，除等边三角形以外，均不能保证三相导线的线间距离相等，因此，三相导线的电感、电容及三相阻抗都不相等，这会造成三相电流的不平衡。这种不平衡，对发电机、电动机和电力系统的运行以及对输电线路附近的弱电线路均会带来一系列的不良影响。为了避免这些影响，各相导线应在空间轮流地改换位置，以平衡三相阻抗。二避雷线和三相导线的换位顺序如图 1-1-4 所示，图中 l 为线路总长度。

经过完全换位的线路，其各相在空间每一位置的各段长度总和相等。进行一次完全换位的线路称为完成了一个换位循环。

设线路的总长度均为 l 公里，当三相导线进行单循环换位时（如图 1-1-4a 所示），其上部为两根避雷线进行四处交叉换位，下部为三根导线进行了三处换位，图上分别标出的 $\frac{l}{6}$ 、 $\frac{l}{3}$ 、 $\frac{l}{12}$ 等，为两换位处之间相距的距离，是用线路全长的一个分数表示的。每相导线在图上的三个位置（上、中、下）的长度和是相等的（如图 a 上 A 相在上方的长度和为 $\frac{l}{6} + \frac{l}{6} = \frac{l}{3}$ ，A 相在中间和下方的长度和也均为 $\frac{l}{3}$ ，同样 B 相、C 相在上中下三个位

置的长度和也都分别为 $\frac{l}{3}$ ），故为完全换位。当然，避雷线换位后在每一位置的长度和，分别为 $\frac{l}{2}$ 。图（b）和图（c）只画出了三相导线的换位示意图，从图中看出，也是完全换位，不过，其换位处总数相对地减少了，小于单循环换位者的2倍或3倍，这对远距离送电线路的运行安全性和经济性是有好处的。

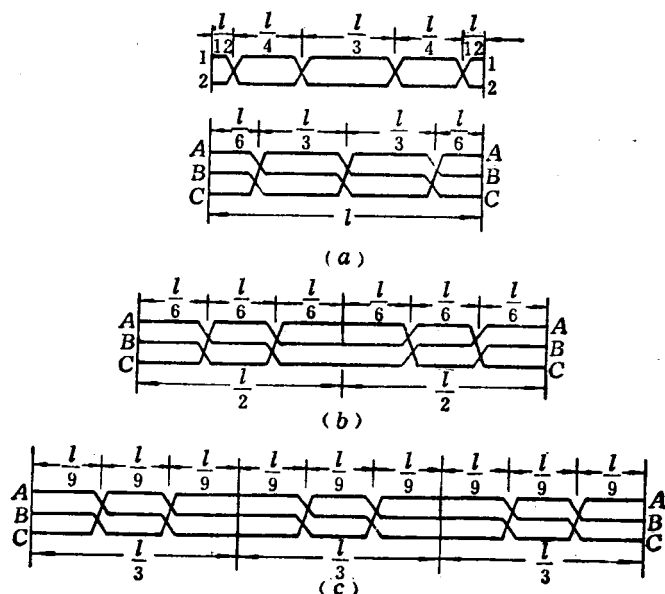


图 1-1-4 送电线路换位示意图
(a) 单循环换位；(b) 双循环换位；(c) 三循环换位

常用的换位方式有滚式换位、耐张塔换位和悬空换位三种（如图 1-1-5 所示）。滚式换位的优点是可用一般型式的杆塔（后面杆塔分类中讲到），缺点是换位处有导线交叉现象，易因复冰不均而引起导线短路，且在档距中导线间的距离不稳定，易接近，因此只广泛应用于轻冰区。耐张塔换位的优点是导线换位时导线间距离较稳定，但需用特殊的耐张换位塔，复杂且不经济，故一般在重冰区使用。悬空换位方式虽在芬兰、瑞典用得较多，我国山西、辽宁也曾采用过，但因施工和检修不便，故未被普遍推广。

无论采用上述哪种换位方式，导线换位都将增大线路投资，且交叉换位处是线路绝缘的薄弱环节，影响运行的可靠性，所以应对换位的循环数加以限制。

《架空送电线路设计技术规程》（以下简称《规程》）规定：“在中性点直接接地的电力网中，长度超过100公里的线路，均应换位。换位循环长度不宜大于200公里”。

《规程》规定：“如一个变电所某级电压的每回出线虽小于100公里，但其总长度超过200公里，可采用变换各回线路的相序排列或换位，以平衡不对称电流。”

《规程》规定：“中性点非直接接地的电力网，为降低中性点长期运行中的电位，可用换位或变换线路相序排列的方法来平衡不对称电容电流。”

为使三相导线对地线的感应电压降至最小，绝缘避雷线也要进行换位。二避雷线的换位点应和导线的换位点错开，两线在空间每一位置的总长度应相等。其换位顶视图见图 1-1-4a。

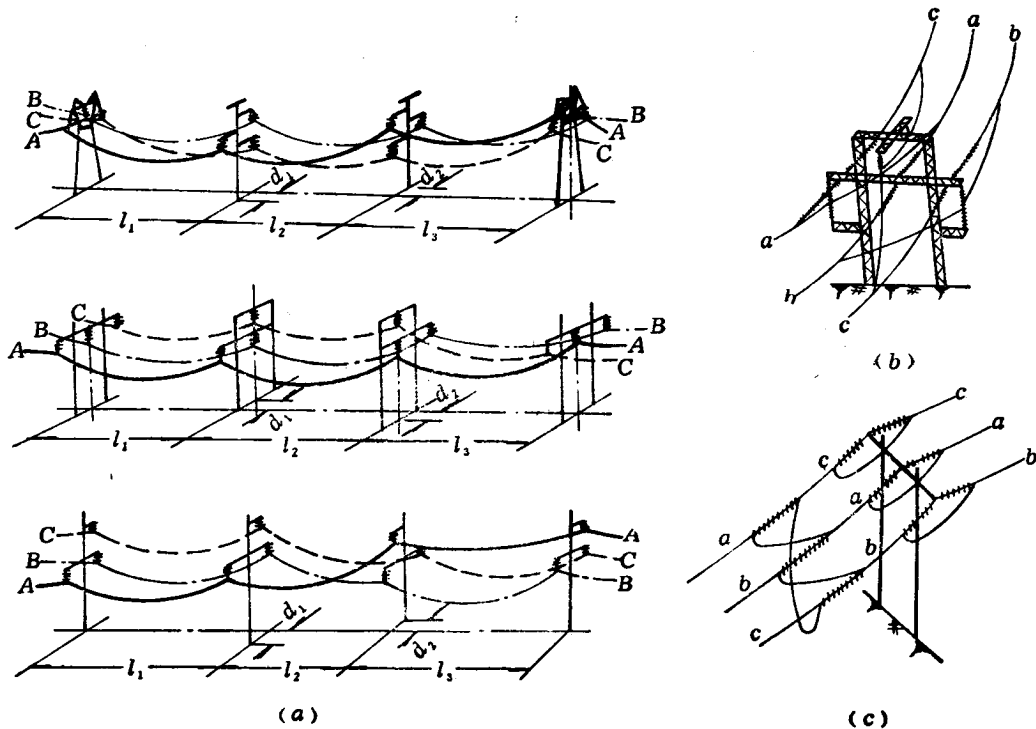


图 1-1-5 换位方式图
(a)滚式换位；(b)耐张塔换位；(c)悬空换位

第三节 杆塔

一、按用途分类

架空线路的杆塔，按其在线路上的用途可分为：直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔、终端杆塔、跨越杆塔和换位杆塔等。

直线杆塔（又称中间杆塔），在架空线路中的数量最多，约占杆塔总数的80%左右。在线路正常运行的情况下，直线杆塔不承受顺线路方向的张力，而仅承受导线、避雷线、绝缘子和金具等的重量，所以，其绝缘子串是垂直悬挂的，称做悬垂串（见图 1-1-6 中的直线杆 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 的绝缘子串），只有在杆塔两侧档距相差悬殊或一侧发生断线时，直线杆塔才承受相邻两档导线的不平衡张力。直线杆塔，一般不承受角度力，因此直线杆塔对机械强度要求较低，造价也较低廉。

耐张杆塔（又称承力杆塔），在线路正常运行和断线事故情况下，均承受顺线路方向的张力，因此，这种杆塔称耐张杆塔。在耐张杆塔上是用耐张绝缘子串和耐张线夹来固定

导线的（参见图1-1-10两端的杆塔）。

两耐张杆塔间的距离称为耐张段。当线路发生断线故障时，不平衡张力很大，这时直线杆塔因顺线路方向的强度较差而可能逐个被拉倒。耐张杆塔强度大，可将倒杆事故限制在一个耐张段内。所以，耐张杆塔也有称做“锚型杆塔”或“断连杆塔”的。

转角杆塔立于线路转角处。线路转向内角的补角称为“线路转角”（见图1-1-7）。转角杆塔两侧导线的张力不在一条直线上，因而须承受角度力，见图1-1-7。转角杆塔除承受垂直重量和风荷以外，还应能承受较大的角度力。角度力决定于转角的大小和导线的水平张力。转角杆塔的类型有耐张型和直线型之分，这是随角度力的大小而定的。

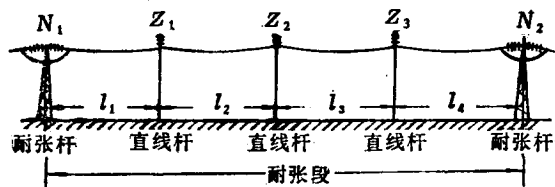


图 1-1-6 线路的一个耐张段

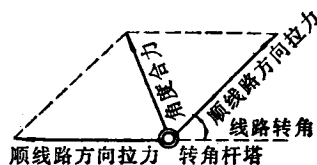


图 1-1-7 转角杆塔的受力图

跨越杆塔位于线路与河流、山谷、铁路等交叉跨越的地方。跨越杆塔也分直线型和耐张型两种。当跨越档距很大时，就得采用特殊设计的耐张型跨越杆塔，其高度也较一般杆塔高得多。

终端杆塔位于线路的首、末端，即变电所进线、出线的第一基杆塔。终端杆塔是一种承受单侧张力的耐张杆塔。

换位杆塔是用来进行导线换位的。高压送电线路的换位杆塔分滚式换位用的直线型换位杆塔和耐张型换位杆塔两种。

二、按材料分类

杆塔按使用的材料可分为：木杆、钢筋混凝土杆和铁塔。木杆由于强度低、易腐朽、寿命短，故已逐渐为钢筋混凝土杆所代替。

钢筋混凝土杆的混凝土和钢筋粘结牢固俨如一体，且二者具有几乎相等的温度膨胀系数，不致因膨胀不等产生温度应力而破坏。当电杆受弯时，混凝土受压而钢筋受拉。混凝土又是钢筋的防锈保护层。所以，钢筋混凝土是制造电杆的好材料。

钢筋混凝土杆的优点是：

- (1) 经久耐用，一般可用50~100年之久；
- (2) 维护简单，运行费用低；
- (3) 较铁塔节约钢材40~60%；
- (4) 比铁塔造价低，施工期短。

其缺点主要是笨重，运输困难，因此对较高的水泥杆，均采用分段制造，现场进行组装，这样可将每段电杆重量限制在500~1000公斤以下。

混凝土的受拉强度较受压强度低得多，当电杆杆柱受力弯曲时，杆柱截面一侧受压另一侧受拉，虽然拉力主要由钢筋承受，但混凝土与钢筋一起伸长，这时混凝土的外层即受

一拉应力而裂缝。裂缝较宽时就会使钢筋锈蚀，缩短寿命。防止产生裂缝的最好方法，就是在电杆浇铸时将钢筋施行预拉，使混凝土在承载前就受到一个预压应力。当电杆承载时，受拉区的混凝土所受的拉应力与此预压应力部分地抵消而不致产生裂缝。这种电杆叫做预应力混凝土电杆。

预应力混凝土杆能发挥高强度钢材的作用，比普通混凝土杆可节约钢材40%左右，同时水泥用量也减少，电杆的重量也减轻了。由于它的抗裂性能好，所以延长了电杆的使用寿命。预应力混凝土杆是今后的发展方向。

铁塔是用角钢焊接或螺栓连接的（个别有铆接的）钢架。它的优点是坚固、可靠，使用期限长，但钢材消耗量大，造价高，施工工艺较复杂，维护工作量大。因此，铁塔多用于交通不便和地形复杂的山区，或一般地区的特大荷载的终端、耐张、大转角、大跨越等特种杆塔。

第四节 绝 缘 子

架空线路的绝缘子，是用来支持导线并使之与杆塔绝缘的。它应具有足够的绝缘强度和机械强度，同时对化学杂质的侵蚀具有足够的抗御能力，并能适应周围大气条件的变化，如温度和湿度变化对它本身的影响等。

架空线路上所用的绝缘子有针式、悬式、棒式和瓷横担等数种。

针式绝缘子（见图1-1-8a）多用于电压较低（35千伏以下）和导线张力不大的配电线路上，导线则用金属线绑扎在绝缘子顶部的槽中使之固定。

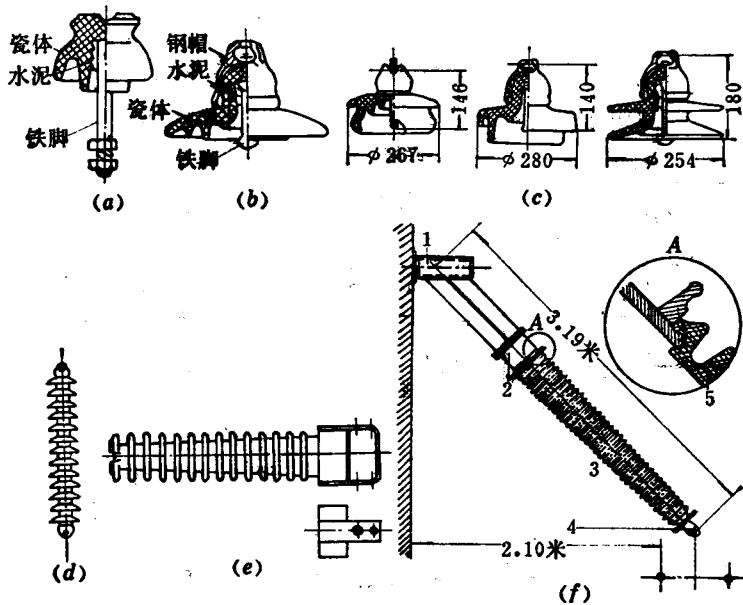


图 1-1-8 绝缘子

(a) 针式绝缘子；(b) 悬式绝缘子；(c) 防污型悬式绝缘子；(d) 瓷质棒式绝缘子；(e) 瓷横担；

(f) 玻璃钢摆动式绝缘横担

1—轴；2—金属套节；3—环氧树脂玻璃钢绝缘子，4—金属帽，5—外壁