

第 6 篇

输 电

第 6 篇

输 电

主编单位 电力工业部西北电力设计院

编写单位 电力工业部西北电力设计院
上海电力设计院

主 编 朱树德

副 主 编 黄耀亮

编 写 人 朱树德 黄耀亮 吴松荣 吴锡全
罗命达 陈梓权 李国征 张海圻
谢 元

主 审 黄志明 刘惠民

第 1 章 概 论

1 概述

输电线路是电力系统的重要组成部分,其功能是输送和交换功率。随着电力负荷的不断增长,大型坑口电厂、水电站和核电厂的建设,都需要通过输电线路构成电力网,实现电力系统安全可靠和经济合理的运行。我国的煤炭资源主要分布在华北、内蒙古和西北地区,水电资源集中于西南、西北,而电力负荷则主要集中在东部沿海地区。西电东送就是根据我国的国情,为解决能源基地和负荷中心分布的不均衡性而制订的,从而提高了输电工程在能源建设中的重要性,有力地推动了超高压、大容量、长距离输电线路的建设。长江三峡水电站的建设,必将促进我国的输电技术向前发展。

最早的电力输送采用直流输电方式,但由于在提高输电电压,增加输送容量和距离等问题上,得不到妥善解决,就逐渐为交流输电所取代。交流输电技术、输变电设备和交流电机的不断进步,使得交流输电得到了巨大的发展,特别自 20 世纪 50 年代以来,超高压交流输电发展迅速。目前,500kV 交流输电线路已被广泛采用,输电电压已达 1000kV 级、输送容量为 10000MW、输送距离超过 1000km 的特高压交流输电线路也已有采用。我国在 1972 年建成第一条 330kV 刘家峡经天水至关中的超高压输电线路,1981 年第一条 500kV 平遥山至武汉的线路投入运行。对于 750~1000kV 级的特高压输电线路,也已开始论证研究。

由于换流技术的进步,特别是大容量晶闸管阀的研制和应用,再加上直流输电在技术上具有优越性,诸如不存在系统稳定问题,不同频率或者不同电压等级的电力网可用以互联,利用直流电缆的良好性能可用以跨过海峡向海岛输电,直流输电线路本体的造价较低,以及能满足大容量输电的需要等,都促进了直流输电的发展。目前,±400kV 和 ±500kV 的直流输电线路已普遍使用,±600kV 和 ±750kV 的输电线路也已出现,输送距离达 2400km,输送容量为 6000MW。我国建成投入运行的直流输电线路有:100kV 宁波至舟山,长 54km,陆上采用架空线路,跨越海峡采用海底电缆;±500kV 葛洲坝至上海的架空线路,全长 1050km。

输电线路按其架设方式,可分为架空输电线路和电缆输电线路两大类。架空线路的特点是曝露于大气之中,充分利用空气绝缘,造价低,维修方便。但受到气候和环境的影响,如风、冰雪、气温、雷暴、盐雾和工业污秽等。严重的会引起断线倒塔、雷击跳闸、绝缘子污闪,造成停电事故。反之,架空线路对生态环境也会产生影响,如对人畜的电、磁影响,对电信线路的危险和干扰影响,对无线电和电视的干扰,发出可听噪声,需较宽的走廊,占用土地,有时也会影响名胜古迹和风景游览区的美观等。根据架空线路的具体情况,采取适当的技术措施,可以保证架空线路的安全运行,消除或减少对生态环境的影响。例如,在选择路径时,综合考虑运行、施工、交通条件和路径长度等因素,尽量避开重冰区、不良地质地带以及严重影响安全运行的地段,少占农田,考虑对邻近电台、电信线路等的相互影响。我国已采用航空测量技术来选择架空线路路径,为优化路径方案创造了良好的条件;采用张力放线,防止导线在施工过程中磨损而产生电晕干扰;采取有效的防污闪和防雷措施,合理制订风、冰等设计荷载;注意架空线路与环境的协调;加强运行维护和管理等。

电缆线路埋设于地下,不受气候和环境的影响,对环境的影响也较小,占地少,维护工作量小,可靠性高。但其造价高,电压等级越高,与架空线路的差价越大,可高达架空线路造价的 10 倍,特别是超高压交流电缆线路,不仅造价高昂,而且输送容量和距离由于电容效应而受到一定的限制。电缆线路一旦发生事故,排除的时间也较长。

目前,在输电线路工程的建设中,一般都优先采用架空输电线路,只是在城区,线路走廊拥挤地段,对环境保护有特殊要求的地区,或跨越大的江、湖、海峡等不能采用架空线路输电时,才采用电缆线路。

2 输电线路的输送容量

2.1 交流输送容量

交流输电的电压等级已统一规定,实现了规范化。我国交流高压和超高压输电的电压标准存在着两个系列。

(1) 35, 110, 220, 500kV, 高一级电压将是 1000kV 级的特高压。

(2) 35, 110, 330kV, 高一级电压可能是 750kV。

各电压等级交流架空输电线路的输送容量和距离参见第1篇第3章。

2.2 直流输送容量

直流输电的电压等级尚未实现规范化,一般根据输送功率和距离,经技术经济比较来确定输电电压。使用较多的是 ± 250 , ± 400 和 ± 500 kV,输送容量大致分别为 500, 1000 和 1500MW。 ± 600 和 ± 750 kV 的电压等级已经出现,特高压直流输电也已开始研究。此外,交、直流联合输电系统的研究试验,正在开展。

直流电缆的技术经济指标优于交流电缆的技术经济指标,运行中损耗少,使用寿命长,且无电容电流的不利影响。但由于造价太高,除个别陆地电缆线路外,都用以向海岛输电或跨越海峡,如英、法海峡直流海底电缆联络线路,电压为 ± 270 kV,两个双极回路输送容量为 2000MW。

3 输电线路的主要元件

3.1 架空线路元件

3.1.1 导线

导线是输电线路的载流元件,要求具有高的导电性能和机械强度,能耐振、耐腐蚀。一般采用钢芯铝绞线,也有采用钢芯铝合金绞线、铝合金绞线和铝包钢绞线等。稀土铝的电导率高,达到了电工铝的水平,运行经验表明,其耐腐蚀性也较好,因而钢芯稀土铝绞线已得到了广泛的使用。钢芯耐热铝合金绞线,允许工作温度达 150°C ,输送容量提高 50%,可用以增加已有线路的输送容量。根据需要,有时还采用特种导线,如扩径导线、防腐型导线、自阻尼导线和防冰雪导线等。

3.1.2 绝缘子

它是将带电体固定在杆塔上的绝缘元件,要求具有高的电气绝缘性能和机械强度,能耐弧、耐冷热变化,使用寿命长,老化率低。绝缘子有针式、悬式、棒式和瓷横担等。以悬式绝缘子使用最多,它又分正常型和耐污型两种。按材质分为瓷质、玻璃和合成材料三大类。合成绝缘子耐污性能好、质量小、长度短,近年来在国外使用量日益增加,国内也已制造和使用。直流绝

缘子的钢脚上配有锌护套,以防止电腐蚀。

3.1.3 金具

按功能分有以下六类:

1. **悬垂线夹** 用以将导、地线固定在直线型杆塔的绝缘子金具串上,承受导、地线的质量及冰雪荷载,并应具有一定的握固力。

2. **耐张线夹** 用以将导、地线固定在耐张型杆塔的绝缘子金具串上,起锚固作用,要求具有很高的握固力。

3. **联结金具** 用于绝缘子串与杆塔、线夹以及金具与金具之间的连接,如直角挂板、U形挂环和联板等。

4. **接续金具** 用于导、地线的接续、补修和连接,如接续管、补修管和并沟线夹等。

5. **防护金具** 用于导、地线的防振保护,如防振锤、护线条等;用以改善绝缘子金具串的电压和电场分布,或保护导线、绝缘子免受电弧烧伤,如均压环、屏蔽环和招弧角等;用以固定分裂导线的几何形状,如间隔棒。

6. **拉线金具** 用于拉线的固定、调节和组合,如楔型线夹、花兰螺丝和拉线二联板等。

根据金具的功能,要求具有足够的机械强度、耐振、耐磨、耐腐蚀。对导电金具,如接续金具,还应接触电阻低,导电性能好。对超高压线路用的金具,还要求表面光洁,无毛刺尖角,具有良好的电晕性能,防止产生干扰影响。

3.1.4 架空地线和接地装置

架空地线架设在导线的上方,其主要功能是防止导线遭受雷击。要求机械强度高,耐振、耐腐蚀,具有足够的导电性和热稳定性。一般采用镀锌钢绞线,当用作通信通道,用以降低对电信线的影响和减小潜供电流时,则需采用良导体地线,如铝包钢绞线、钢芯铝绞线等。架空地线可直接接地,为减少电能损失,也可对地绝缘,雷击时绝缘击穿,呈接地状态,不影响防雷效果。近年来,光纤复合架空地线(Composite Fiber-Optic Overhead Ground Wire——OPGW)在国外已广泛得到应用,在我国也已投入生产和工程应用,除防止雷击外,还可实现光纤通信、继电保护和图象传输等。

接地装置的作用是将杆塔和架空地线上的雷电流或工频短路电流泄入大地,降低杆塔的对地电位。接地

装置的尺寸根据土壤电阻率和规定的接地电阻值而定,还需满足热稳定和防腐蚀的要求。

3.1.5 杆塔与基础

杆塔与基础用于支持导、地线和绝缘子金具串等线路元件,承受各种气象条件、不同工况下的荷载(如正常运行、断线和安装情况等),要求具有足够的强度和稳定性,变形小,便于安装维护,耐腐蚀,运行可靠性高。

杆塔的头部尺寸应满足绝缘配合和带电作业的要求。按用途来分,有直线、耐张、转角、换位、终端和大跨越杆塔。按受力特性和结构型式来分,有拉线杆塔和自立式杆塔两大类。当地形和交通运输条件较好,一般优先考虑采用预应力钢筋混凝土杆,35kV的通常采用单杆,110~330kV的采用双杆。铁塔大多用角钢螺栓连接,镀锌防腐。大跨越塔也有采用钢筋混凝土烟囱塔和钢管塔。

钢筋混凝土杆基础采用预制的底盘和卡盘。铁塔基础类型较多,根据荷载、地质、水文和运输施工等条件选定,一般采用开挖式现浇基础或预制基础,也可采用岩石、掏挖、金属和桩基础等。

3.2 电缆线路元件

电缆线路的主要元件是电缆和附件。要求导电性能好,机械强度和电气绝缘强度高,损耗低,电容电流小,密封性好,耐腐蚀,在施工过程中敷设方便,不易受损伤。各种电缆及附件的结构和性能,参见输变电、配电设备卷第1篇第4章。

在输电线路上常用的电缆是:粘性浸渍电缆,适用于35kV输电线路;交联聚乙烯电缆,适用于35、110kV输电线路;充油电缆,适用于110kV及以上电压等级的输电线路。由于交联聚乙烯电缆的优良性能和制造工艺的改进,将在220kV及更高电压等级的线路上得到普遍的应用。近年来,国外研制和应用了SF₆气体绝缘管道电缆(Gas Insulated Line——GIL),适用于大容量输电,可垂直布置,不受高差的影响,电容电流小,介质损耗小,在超高压和特高压的线路上均可应用。高温超导技术的研究正在大力开展,应用于电力输送,特别在电缆输电线路上的应用,必将使输电技术的面目焕然一新。

电缆附件有终端、连接盒、供油箱和电缆护层保护器等。

第2章 交流架空输电线路

1 气象条件

架空输电线路架设在大自然中,自然界的各种气候现象都对输电线路导、地线的运行应力、杆塔强度和电气性能等产生影响。其中大风、冰雪、气温、空气密度和雷电等是主要的。这些气象参数直接影响到架空输电线路的技术经济指标和线路运行的可靠性,因此,合理地选择气象参数是十分重要的。

在选取架空输电线路的气象参数时,要注意搜集和分析沿线附近各气象台站的资料,重视已建电力线路、通信线路的运行资料,必要时,可在新建线路经过的某些地段设立气象观测站。

另外,对架空线路沿线附近的空气污秽情况和雾天资料也要搜集,把它作为确定线路绝缘水平的依据之一。

对架空线路某些地段(如相对高差变化较大的地段、狭口、山峰、冷暖气流交汇等处)的气象参数要特

别重视。这些地段由于受微气候的影响,其气象参数同线路其他地段可能有较大的差别。

1.1 最大设计风速

1. 最大设计风速的取值标准 我国架空输电线路的最大设计风速的取值标准见表6-2-1。

表 6-2-1 架空输电线路的最大设计风速的取值标准

线路电压等级 (kV)	重现期 (a)	基准高度 (m)	时距 (min)
35~330	15	15	10
500	30	20	10

跨越大江、大河、湖泊和海峡的大跨越档的最大基准风速的取值标准:对于220~330kV输电线路,采用30年一遇的数值;对于500kV输电线路,采用50年一遇的数值;基准高度和时距取历年平均最低水位以上

10m 高处的 10min 平均最大值。10m 以上高度的风速应作高度换算。500kV 输电线路大跨越处的基准设计风速, 应不低于 30m/s。

2. 最大设计风速选取法 根据搜集到的历年最大风速值, 用气象方面有关概率统计方法求出最大风速的分布频率, 再按规定确定最大设计风速基准值。输电线路设计可采用较为粗略而简便的“经验频率法”, 也可用极值分布法的耿贝尔法。

a. 经验频率法 一般输电线路可采用比较简单的经验频率法, 其计算公式为

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (6.2-1)$$

式中 P ——风速出现频率;

m ——将统计年限内的每年最大风速由大到小按递减顺序列表编号, 则序号即为与该风速相对应的 m 值;

n ——统计风速的总年数。

根据上式, 可求出风速频率 P 和风速 v 相对应的一组数据, 把它们绘在概率纸上, 形成一曲线, 即可求出任一频率的风速。

b. 数理统计法 常用的数理统计方法为皮尔逊 III 型曲线和极值分布法的耿贝尔法, 由于皮尔逊 III 型曲线受某些条件的限制, 一般都采用极值分布法的耿贝尔法。极值分布函数的基本公式为^[8]

$$F(v) = e^{-e^{-a(v-u)}} \quad (6.2-2)$$

$$a = c_1/\sigma$$

$$u = \bar{v} - c_2/a$$

常数 c_1 、 c_2 取决于统计年限数 n , 其值见表 6.2-2。

表 6.2-2 与统计年限有关的常数 c_1 、 c_2 值

统计年限数 n	c_1	c_2
10	0.9497	0.4952
15	1.0206	0.5128
20	1.0628	0.5236
25	1.0915	0.5309
30	1.1124	0.5362
40	1.1413	0.5436
50	1.1607	0.5485
∞	1.2826	0.5772

将 a 和 u 值代入式 (6.2-2), 可得

$$F(v) = e^{-e^{-\frac{c_1}{\sigma}(v-\bar{v}+\frac{c_2}{c_1})}} \quad (6.2-2a)$$

当 $n = \infty$ ($n > 50$ 年) 时, 可得

$$F(v) = e^{-e^{-\frac{\pi}{\sqrt{6}}(\frac{v-\bar{v}+0.45\sigma}{\sigma})}} \quad (6.2-2b)$$

因而, 高于风速 v 值的概率 $p(v)$ 为

$$p(v) = 1 - e^{-\frac{c_1}{\sigma}(v-\bar{v}+\frac{c_2}{c_1})} \quad (6.2-2c)$$

v 的重现期 T 为

$$T = \frac{1}{p(v)} \quad (6.2-2d)$$

将式 (6.2-2d) 代入式 (6.2-2c), 并进行变换, 可得

$$v = \bar{v} - \frac{c_2}{c_1}\sigma + \frac{\sigma}{c_1} \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (6.2-3)$$

如果 $n = \infty$ ($n > 50$ 年时, 可近似地认为 $n = \infty$), 那末

$$v = \bar{v} - 0.45\sigma + \sigma \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (6.2-3a)$$

式中 v ——重现期为 T 的风速 (m/s);

$\bar{v}$ ——统计年限内的年最大风速平均值 (m/s),

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^n v_i/n;$$

σ ——标准偏差, $\sigma = \sqrt{\sum (v_i - \bar{v})^2 / (n-1)}$ 。

上述两种方法, 都需要有足够年份的年最大风速的统计资料。如沿线无足够年份的资料时, 可通过与具有长期资料的相邻台站的资料进行对比分析后确定。

3. 风速的高度变化修正系数 输电线路杆塔高度和导、地线的平均悬挂高度与基准风速的高度往往不同, 设计中采用的设计风速应做高度修正。不同高度的风速可由下式求得:

$$v_z = v_1 \left(\frac{h_z}{h_1} \right)^a \quad (6.2-4)$$

式中 v_z ——高度为 h_z 的风速 (m/s);

v_1 ——基准高度为 h_1 的风速, 对 330kV 及以下的线路 h_1 取 15m, 对 500kV 线路 h_1 取 20m;

a ——与地面粗糙度有关的指数值, 其取值范围为 0.1~0.28, 对于开阔地区, 一般取 0.16。

按式 (6.2-4) 求得的输电线路的风速和风压高度变化修正系数见表 6.2-3。

表 6.2-3 风速和风压的高度变化系数

离地高度 (m)	电压等级			
	330kV 及以下		500kV	
	风速	风压	风速	风压
10	0.94	0.88	0.89	0.8
15	1.0	1.0	0.95	0.91
20	1.05	1.10	1.0	1.0

(续)

离地高度 (m)	电压等级			
	330kV 及以下		500kV	
	风速	风压	风速	风压
30	1.12	1.25	1.07	1.14
40	1.17	1.37	1.12	1.25
50	1.21	1.46	1.16	1.34
60	1.25	1.55	1.19	1.42
70	1.28	1.63	1.22	1.49
80	1.31	1.71	1.25	1.56
90	1.33	1.77	1.27	1.62
100	1.35	1.83	1.29	1.67
150	1.45	2.09	1.38	1.90
200	1.51	2.29	1.45	2.09
250	1.57	2.46	1.50	2.24
300	1.62	2.61	1.54	2.38
350	1.66	2.74	1.58	2.50

注:中间值可按线性插入法求得。

1.2 冰荷载

1. 导、地线覆冰的种类及其物理特性 (表 6-2-4)

表 6-2-4 导、地线覆冰的种类及其物理特性

冰的种类	密度 (g/cm ³)	粘结度	外观
雨凇	0.6~0.9	强	透明
雾凇	0.15~0.3	弱	白色不透明
雨、雾凇混 合体	0.2~0.6	较强	透明层与白色不透明 层交替
湿雪	0.2~0.4	较强	白色不透明

2. 冰荷载的取值标准 在我国,对 330kV 及以下的输电线路,冰荷载按 15 年一遇的最大覆冰厚度来计算;对 500kV 的输电线路和大跨越的 330kV 及以下电压等级输电线路,取 30 年一遇的数值;对大跨越的 500kV 输电线路,取 50 年一遇的数值。覆冰等值厚度的密度都取 0.9g/cm^3 。

按我国的设计标准,把冰区分为两类:即覆冰厚度小于 20mm 的地区为轻冰区;等于或大于 20mm 的地区为重冰区。轻冰区和重冰区的杆塔荷载条件是不同的。

3. 冰资料的搜集 冰荷载是设计架空输电线路的重要参数,对有覆冰现象的地区要重视冰资料的搜集。

(1)搜集沿线气象台站的覆冰资料,其中要包括冰的种类、直径、密度或单位长度的冰重等。如果没有覆冰资料,搜集沿线各气象台站的某些气象数据对分析该地区的覆冰情况也是有用的,如高湿度、低气温的气候现象,覆冰季节的降雪量等。

(2)为了获得冰荷载分布的样本,在一些有代表性的地区设置冰荷载的观测站,有时也是必要的。

(3)在缺少覆冰资料的情况下,调查新建线路附近的已有电力线路和通信线路的覆冰情况、沿线地面植被的覆冰情况和冰对植被的破坏情况等也是十分重要的。利用这些资料有可能粗略估计出当地结冰特点及严重程度。

4. 冰资料的处理 从气象台站和观冰站搜集到的冰资料,应进行必要的分析和换算。首先,要确定冰的种类及其物理特性,单位长度的冰重;其次,根据单位长度的冰重换算至密度为 0.9g/cm^3 的导线等值覆冰厚度;第三,用数理统计法计算出一定重现期的冰厚概率值;第四,进行高度和线径的修正;最后确定设计冰厚。在确定设计冰厚时,要考虑某些地形对线路覆冰的影响,如暖流与冷空气交汇的山谷和山顶,平原边缘的突出高地,突出的丘陵顶峰和高海拔地区的某些山地等都可能出现比较严重的覆冰现象。当然,对这些地区的冰荷载做出定量分析是非常困难的。

冰荷载对架空输电线路的技术经济指标影响较大,重冰区的架空输电线路造价要比轻冰区的高 50%~100%,甚至更大。因此,确定冰荷载时要十分慎重。在选择线路路径时,宜尽量避开重冰区,并尽量避免多回线路通过同一重冰区。

由于缺少可靠的冰荷载资料,一条架空输电线路的某些地段的冰荷载难以确定。对这些地段,在选择塔型、塔位时要给予特别重视,杆塔上的导线布置最好采用水平排列;导、地线之间也要保持较大的水平位移;避免出现大档距、大高差和大转角等。这样做可充分利用高压架空输电线路自身的抗冰能力。

1.3 雷电参数

雷电是积聚大量电荷的云团对地放电或云团之间放电而发生的自然现象。由于雷电流的幅值和陡度都很大,当它击中输电线路的导线或杆塔时,会引起线路绝缘发生闪络。从统计资料中可以看出,由于雷击而引起的输电线路跳闸事故在输电线路的总事故中所占的比例相当大。所以线路的防雷设计,特别是在多雷区,应给予足够的重视。在防雷设计中常用到的雷电参数有雷暴日、地面平均落雷密度、雷电流的幅值和波形等。

1. 雷暴日和雷暴小时 雷暴日和雷暴小时都是用来表示某一地区雷电活动的频数。雷暴日是指一年中有雷电的天数,雷暴小时是指一年中有雷电的小时数。由于各年的雷暴日(或雷暴小时)变化较大,一般

都采用多年平均值。利用雷暴小时作计算单位更能反映雷暴的持续时间及强烈程度,但也给统计带来一些困难。在我国都采用雷暴日作为计算单位。

雷暴日的多少与纬度有关,以一般平均值来说,纬度越低,雷暴日越多。年平均雷暴日数不超过15的地区称为少雷区,超过40的地区称为多雷区。输电线路设计用的雷暴日数可在沿线附近的气象台站中搜集到,取其多年平均值。

2. 地面落雷密度 真正危害输电线路的雷电是落在输电线路上和输电线路附近地面上的雷电,该参数用地面落雷密度 γ [次/($\text{km}^2 \cdot$ 雷暴日)]来表示,其意义为每一雷暴日、每平方千米对地落雷次数。根据实测数据,SDJ7-79《电力设备过电压保护设计技术规程》推荐,在一般情况下可取 $\gamma=0.015$ 。

3. 雷电流的幅值和极性 雷电流是指雷直击于低接地电阻的物体时,流过该物体的电流。雷电流的幅值 I 与气象及自然条件有关,是一个随机变量。根据我国的实测数据,雷电流幅值的概率曲线如图6·2-1所示,该曲线可用下式表示:

$$\lg p = -\frac{I}{108} \quad (6 \cdot 2 \cdot 5)$$

式中 I ——雷电流幅值(kA);

p ——超过雷电流幅值 I 的概率。

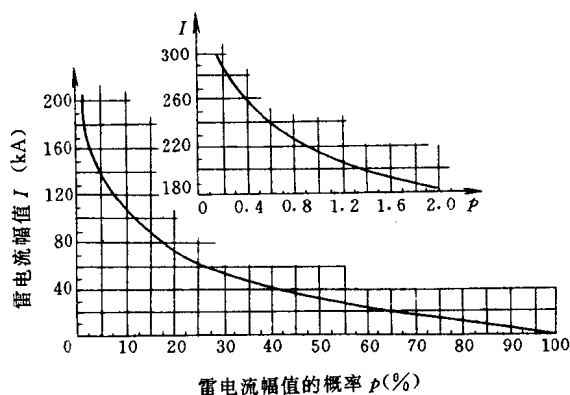


图6·2-1 我国雷电流幅值概率曲线

注:陕南以外的西北地区、内蒙古自治区的部分地区等(这类地区的年平均雷暴日数一般在20及以下)雷电流幅值较小,可由给定的概率按图查出雷电流幅值后减半。

雷电流极性,从实测结果来看,多数为负极性。由于输电线路的绝缘子串在正极性雷电流作用下,其放电电压比负极性的低,因此,在防雷设计中,都采用正极性。

4. 雷电流波形 根据世界各国测得的数据,雷电流波形的波长(τ)一般为 $30 \sim 50 \mu\text{s}$,波头 τ_1 为 $1 \sim 4 \mu\text{s}$ 。我国输变电设备的试验波形,其波头(τ_1)取 $1.2 \mu\text{s}$,波长(τ)取 $50 \mu\text{s}$ 。在线路防雷设计中,雷电流的波头长度一般可取 $2.6 \mu\text{s}$,波头形状取斜角形;在设计特殊高塔时,可取半余弦波形,其最大陡度与平均陡度之比为 $\pi/2$ 。

1.4 气象条件的组合

输电线路设计所选用的气象条件组合,除应合理地反映自然条件的变化规律外,还要适合输电线路整体技术经济的合理性和适当考虑设计计算的方便。因此,必须根据输电线路实际运行中可能遇到的情况,慎重地调查分析原始气象资料,按有关标准,合理地概括出“组合气象条件”。

1. 选择组合气象条件的要求

(1) 输电线路在大风、覆冰及最低气温时,仍能正常运行。

(2) 输电线路在事故情况下(指断线),具有限制事故(指倒塔)范围的能力。

(3) 输电线路在安装过程中,不致发生人身或设备损坏事故。

(4) 输电线路在正常运行情况下,在任何季节里,导线对地面或与其他地物、建筑物保持足够的安全距离。

(5) 输电线路在长期运行中,应保证导线和地线有足够的耐振性能。

2. 输电线路正常运行情况下的气象条件组合

线路在正常运行中,导线和杆塔要承受大风、覆冰和最低气温三个气象因素的作用。根据气象规律,这三个气象因素的极值不可能同时发生,应分别考虑三种气象条件组合。一般情况下,发生最大风速时,导、地线不覆冰,其相应温度取该地区发生大风月的平均气温或稍低一些;考虑导、地线覆冰时,其相应风速可采用结冰过程中历年最大风速,温度取 0°C 以下(如 -5°C);考虑最低气温时,不出现风和冰。

3. 输电线路安装和检修情况下的气象组合

输电线路设计要考虑一年四季都有安装、检修的可能,遇有 10m/s 以上风速时,已不便进行野外作业。因此,安装和检修情况下,风速取 10m/s ;温度取其所在地区最低气温月的平均气温;安装、检修时不考虑覆冰。遇有

⊖ GB2900.1-92称为波前。

特殊情况,要在超过上述气象条件的情况下进行检修,则必须采取必要的保安措施,以确保人身和设备的安全。

4. 雷电过电压和操作过电压的同时风速 雷电过电压的同时风速,一般地区取 10m/s。最大设计风速 $\geq 35\text{m/s}$ 的地区及雷暴时风速较大的地区,一般采用

15m/s。

操作过电压的同时风速,一般地区取最大设计风速的 50%,但不低于 15m/s。

5. 典型气象区 为了设计、制造上的标准化和统一性,各地区根据本地区的气象情况组合成一些典型气象区,表 6-2-5 为我国部分典型气象区。

表 6-2-5 我国部分典型气象区

气 象 区		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
大 气 温 度 (℃)	最高	+40								
	最低	-5	-10	-10	-20	-10	-20	-40	-20	-20
	覆冰	—	-5							
	最大风	+10	+10	-5	-5	+10	-5	-5	-5	-5
	安装	0	0	-5	-10	-5	-10	-15	-10	-10
	雷电过电压	+15								
	操作过电压 年平均气温	+20	+15	+15	+10	+15	+10	-5	+10	+10
风 速 (m/s)	最大风	35	30	25	25	30	25	30	30	30
	覆冰	10							15	
	安装	10								
	雷电过电压	15	10							
	操作过电压	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
冰的密度（g/cm ³ ）		0.9								

(续)

2 导、地线的力学性能

2.1 比载

在各种气象条件下,导、地线每单位长度、每单位截面积上的荷载,称为比载,单位是 N/(m·mm²)。其意义和计算公式见表 6-2-6。

在表 6-2-7 中,列出风速为 25m/s,覆冰厚度为 5mm 的几种导、地线比载。

表 6-2-6 比载计算公式 [N/(m·mm²)]

比载种类	符号	计算公式
自重	γ_1	$\frac{P_1 g}{A}$
冰重	γ_2	$0.9\pi \frac{b(b+d)}{A} g \times 10^{-3}$
自重加冰重	γ_3	$\gamma_1 + \gamma_2$
无冰时风荷载	γ_4	$\alpha c \frac{\omega_0 d}{A} \times 10^{-3}$

比载种类	符号	计算公式
覆冰时风荷载	γ_5	$\alpha c \frac{\omega_0 (d+2b)}{A} \times 10^{-3}$
无冰时综合荷载	γ_6	$\sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_4^2}$
覆冰时综合荷载	γ_7	$\sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}$

- 注: 1. P_1 —导、地线单位长度的质量 (kg/m)。
2. g —重力加速度,取 9.8m/s^2 。
3. A —导、地线截面积 (mm²)。
4. b —导、地线覆冰厚度 (mm)。
5. d —导、地线直径 (mm)。
6. ω_0 —不同风速 v (m/s) 作用下的基本风压,一般取 $v^2/1.6$ (N/m²)。
7. α —风速不均匀档距折减系数,取值如下: $v < 20\text{m/s}$, $\alpha = 1.0$; $20 \leq v < 30\text{m/s}$, $\alpha = 0.85$; $30 \leq v < 35\text{m/s}$, $\alpha = 0.75$; $v \geq 35\text{m/s}$, $\alpha = 0.70$ 。
8. c —线条风载体型系数,取值如下: $d < 17\text{mm}$, $c = 1.2$; $d \geq 17\text{mm}$, $c = 1.1$; 覆冰 (不论线径大小), $c = 1.2$ 。

表 6-2-7 几种导、地线比载 $[\times 10^{-3} \text{N}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)]$

型 号	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6	γ_7
LGJ-120/20	34.016	20.678	54.694	44.646	13.981	56.120	56.453
LGI-150/25	34.026	17.689	51.715	36.078	11.741	49.592	53.031
LGJ-185/30	34.035	15.690	49.725	32.692	10.269	47.193	50.774
LGJ-240/30	32.752	13.357	46.109	28.482	8.549	43.404	46.895
LGJ-300/25	31.105	11.956	43.061	26.036	7.597	40.563	43.726
LGJ-400/35	31.086	10.368	41.454	23.035	6.494	38.690	41.960
LGJ-500/45	31.115	9.124	40.239	20.608	5.642	37.321	40.633
LGJ-630/55	31.095	7.820	38.915	18.004	4.774	35.931	39.207
1×7-7.8	77.804	47.710	125.514	83.611	35.916	114.211	130.552
1×7-8.7	77.802	41.048	118.850	74.966	30.331	108.042	122.659
1×19-11.5	78.013	28.958	106.971	58.044	20.427	97.238	108.404
OPGW-75/45	49.304	23.687	72.991	50.421	15.654	70.521	74.651

注: 1. γ_2 为冰厚 $b=5\text{mm}$ 时的冰重比载; γ_4 为无冰, 风速 $v=25\text{m/s}$ 时的风压比载; γ_5 为覆冰 $b=5\text{mm}$, 风速 $v=10\text{m/s}$ 时的风压比载。

2. LGJ-120/20 表示钢芯铝绞线, 铝部标称截面积为 120mm^2 , 钢芯标称截面积为 20mm^2 。

3. 1×7-7.8 表示镀锌钢绞线, 结构 1×7、绞线直径 7.8mm。

4. OPGW-75/45 表示光纤复合架空地线, 铝部和钢部标称截面积为 75 和 45mm^2 。

2.2 弧垂

架空线路的导线或地线悬挂在杆塔上, 杆塔间的距离远大于导、地线的直径, 并假定导、地线的质量沿长度均匀分布, 则导、地线的形状呈“悬链线”, 其表达式为

$$y = h_0 \cosh \frac{x}{h_0} \quad (\text{m}) \quad (6.2-6)$$

$$h_0 = \frac{\sigma_0}{\gamma}$$

式中 σ_0 ——导、地线应力水平分量 (N/mm^2);

γ ——导、地线的比载 [$\text{N}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$]。

$$\text{弧垂 } f = y - h_0 = h_0 \left(\cosh \frac{x}{h_0} - 1 \right) \quad (\text{m}) \quad (6.2-7)$$

在工程实用上, 除大跨越和个别特殊情况外, 一般可近似地假定导、地线质量沿 X 轴均匀分布, 则其悬挂形状就成为抛物线。如原点位于导、地线的最低点, 任一点的弧垂就等于纵轴 Y 值

$$f = y = \frac{\gamma x^2}{2\sigma_0} \quad (\text{m}) \quad (6.2-8)$$

导、地线悬挂在等高和不等高 (高差为 h) 的悬挂点上时, 分别见图 6-2-2 和图 6-2-3。

对不等高悬挂点

$$f_A = \frac{\gamma}{2\sigma_0} l_A^2 \quad (\text{m}) \quad f_B = \frac{\gamma}{2\sigma_0} l_B^2 \quad (\text{m}) \quad (6.2-9)$$

$$\left. \begin{aligned} l_A &= \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0}{\gamma} \frac{h}{l} \quad (\text{m}) \\ l_B &= \frac{l}{2} - \frac{\sigma_0}{\gamma} \frac{h}{l} \quad (\text{m}) \end{aligned} \right\} \quad (6.2-10)$$

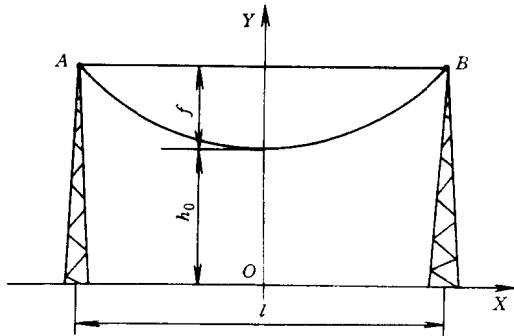


图 6-2-2 等高悬挂点弧垂

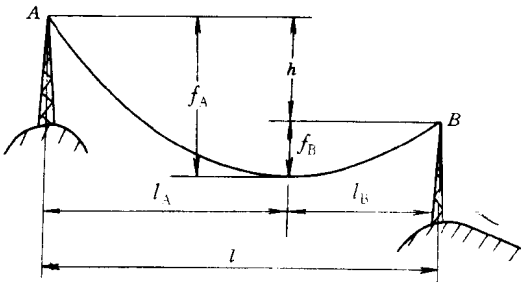


图 6-2-3 不等高悬挂点弧垂

2.3 基本状态方程

导、地线架设后,其应力和弧垂随气象条件的变化而改变。一般最大应力发生在最低气温或最大荷载(冰载或风载),常以此作为已知的控制条件,来计算其他气象条件下的应力和弧垂。在荷载不大的地区,为防止微风振动受损所限定的平均运行应力,也往往是应力和弧垂计算的控制条件。

对悬挂于两固定点的导、地线,当已知某一起始气象条件的应力,考虑到弹性伸长和温度伸长等因素,可从下列的基本状态方程,计算另一气象条件下的应力。

$$\sigma_m - \frac{\gamma_m^2 l^2}{24\sigma_m^2} E = \sigma - \frac{\gamma^2 l^2}{24\sigma^2} E - \alpha E (t_m - t) \quad (6.2-11)$$

式中 σ_m 、 σ ——已知和待求的导、地线应力水平分量 (N/mm²);

γ_m 、 γ ——起始气象条件和另一气象条件下的导、地线比载 [N/(m·mm²)];

t_m 、 t ——起始气象条件和另一气象条件下的气温 (°C);

E ——导、地线弹性模量 (N/mm²);

α ——导、地线温度伸长系数 (1/°C);

l ——档距长度 (m)。

架空线路是以耐张型杆塔分段的,即相邻两基耐张型杆塔形成一耐张段,耐张段中含有一定数量的直线杆塔。在施工架设时,耐张段内各档导、地线应力的水平分量是相等的,当气象条件变化时,由于各档的档距和高差不完全相同,各档的应力也不尽相等,但连续档内悬垂绝缘子串的偏移平衡作用,使得各档导、地线应力的水平分量基本上趋于同一数值。因此,耐张段内各档的应力变化,可用悬挂在两固定点的代表档距来表征。以此代入基本状态方程,就可求得在各种气象条件下耐张段内各档的导、地线应力。

代表档距

$$l_t = \sqrt{\frac{l_1^3 + l_2^3 + l_3^3 + \dots + l_n^3}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}} = \sqrt{\frac{\sum l^3}{\sum l}} \quad (m) \quad (6.2-12)$$

式中 l_1 、 l_2 、 l_3 、 $\dots$ 、 l_n ——耐张段内各档的档距长度 (m)。

2.4 蠕变^{[1][9]}

多股绞线受张力后,会产生永久性的塑性伸长。它由两部分组成:第一部分取决于绞线的结构和绞合工

艺,与股线之间和各层之间的紧密程度有关,一般只与所受的张力大小有关,而与时间的关系不大,通常在架线过程中就能伸长放出;第二部分取决于材料的性质及其内部构造,除了与所受的张力有关外,还与受力的时间和温度有关,要在运行中逐渐伸长放出,即所谓“蠕变”。它将使导、地线的长度增加,应力放松,弧度增大,引起导线对地和跨越物的安全距离不够,造成运行上的困难。因此,必须在施工中应予以补偿。

经过多年的试验研究和实地调查观测,按照导、地线的类型、规格、材质、使用环境、工作条件和补偿期限等因素,可以对蠕变进行预测。

综合有关的试验和实际运行资料,导、地线在架线后的塑性伸长率,大致如下:

钢芯铝绞线	$3 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4}$
轻型钢芯铝绞线	$4 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$
加强型钢芯铝绞线	3×10^{-4}
钢绞线	1×10^{-4}

在工程建设中,应采用试验或制造厂提供的数据。当无资料时,一般可采用上述的数据。通常采用降温法来补偿架线后的塑性伸长,与上列的数值相对应,降低的温度如下:

钢芯铝绞线	15~20°C
轻型钢芯铝绞线	20~25°C
加强型钢芯铝绞线	15°C
钢绞线	10°C

2.5 摆动与舞动

2.5.1 微风振动

在平稳的横向微风作用下,风速一般在0.5~5m/s之间,导、地线受到一定频率的上下交变的风力作用,当此频率与导、地线的振动频率接近时,就会发生持续的振动,称为微风振动。振动频率由几赫至上百赫,全振幅(峰对峰)一般在20~30mm。单线 and 多根分裂线都能发生,会造成导、地线疲劳断股、金具断裂、联结螺栓松动。

导、地线的使用应力加大,振动水平和持续时间都会增加;地形平坦开阔,振动水平和持续时间也会增大;档距越大,悬挂点越高,振动也较强;分裂导线由于子导线间的相互阻尼作用,振动减弱;与导、地线的材质和构造也有一定的关系,根据能量平衡原理,已注意线材自阻尼的减振作用。

防振措施一般可根据导、地线的平均运行应力、地

形和档距,按照表 6·2-8 的要求来选用。

表 6·2-8 导、地线平均运行应力的上限和防振措施^[1]

情 况	防振措施	平均运行应力上限 (抗拉强度的%)	
		钢芯 铝绞线	钢绞线
档距不超过 500m 的 开阔地区	不需要	16	12
档距不超过 500m 的 非开阔地区	不需要	18	18
档距不超过 120m	不需要	18	18
不论档距大小	护线条	22	—
不论档距大小	防振锤(线)或 另加护线条	25	25

2·5·2 次档距振荡^{[12][13]}

只在分裂导线的架空线路上,在两间隔棒之间的线段上发生。引起振荡的风速为 4~18m/s,振荡频率为 0.7~2.0Hz,振幅可达几十厘米。造成的危害是:间隔棒松脱、损坏;导线疲劳磨损;也会导致子导线鞭击损伤,乃至分裂导线的解体,对运行造成很大的困难。因此,次档距振荡问题,已受到普遍的重视。

采取的措施是:选用性能良好的间隔棒,采用不等的次档距和不对称布置,适当减少次档距的长度;增大子导线间的间距 D ,使其与子导线直径 d 的比值,即 D/d ,要达到 15。

2·5·3 舞动^{[14][15]}

单导线和分裂导线都可能发生,但分裂导线易于形成舞动。绝大多数舞动在覆冰的情况下发生,环境温度在 0~-5℃,风速一般在 5m/s 以上,代表风速为 10m/s,频率较低,在 3Hz 以下,但振幅较大,可达十几米,持续时间长,可连续舞动几十小时。舞动后果严重,会引起碰线短路跳闸,造成导线断股、断线,金具断裂,杆塔部件损坏,螺栓松脱等。致使长时间停电,威胁电力网安全运行。我国自 500kV 输电线路建成投入运行以来,曾发生多次导线舞动。防舞问题已受到各方面的重视,开展了一系列的调查研究和分析工作。

从运行经验来看,导线舞动只发生在线路的局部地段,除冰、风等气象因素外,还与地形条件有关,平坦开阔地区容易发生舞动。因此,在选择线路路径,特别是选择大跨越走向时,要根据当地的运行经验,尽量

避开有舞动记录的地段。无法避让时,可采取的对策有:

(1) 采用防舞装置,如失谐摆、双摆防舞器、偏心重锤等防舞动装置,也可用防振锤作分散的集中荷载来抑制舞动。在国外,也有通过提高导线系统的自阻尼和提高风动阻力来抑制舞动的,如终端阻尼器和空气动力阻尼器等。

(2) 导线采用水平排列,合理选择线间距离和导、地线间的距离,防止碰线短路事故。国外在高压和超高压输电线路路上,采用合成绝缘的相间间隔棒,用以抑制舞动,并固定相间距离,防止相间短路,我国也已开始应用。

(3) 采用不停电熔冰、防雪导线和低居里点合金套管等,防止导线覆冰,以消除诱发舞动的外部条件。

(4) 绝缘子、金具和杆塔的部件具有足够的机械强度,直线杆塔采用固定型垂悬线夹。

3 电气特性

3·1 导线

导线要具有高的电导率,足够的机械强度和耐振、耐腐蚀等性能。对于交流架空输电线路,一般均用裸导线,每相用一根或多根导线。

输电线路通常使用钢芯铝绞线。在大跨越、重冰区、高海拔地区,以及对导线有严重腐蚀的地段,可按不同的要求选用不同品种的特殊导线。这些特殊导线的品种、适用范围及功效,见表 6·2-9。钢芯铝绞线的规格及机械、导电性能详见国家标准 GB1179—83《铝绞线及钢芯铝绞线》。

从 70 年代起,我国已开发出稀土铝导线,其电导率能提高到电工铝的标准,机械加工性能也有所提高,运行经验表明,其耐腐蚀性能也较好。目前,已在各级电压的线路上推广使用。

导线的铝截面选择,主要是根据输送容量和经济电流密度。对大跨越或增容改造的输电线路,有时是按导线允许持续发热条件验算其截面积,对某些输电距离特别长的 35~110kV 输电线路,还需按允许电压损失来选择截面积。

在中等截面积和大截面积的钢芯铝绞线或钢芯铝合金绞线的国家标准中,相同的铝截面积配有不同截面积的钢芯,即有不同的铝钢截面积比。通常铝钢截面积比采用的范围为 7~9。在外荷载不大的地区,采用较大的铝钢截面积比显得更为经济。铝钢截面积比大

致在4左右或更小,通常用于大跨越及重冰区等。

表 6·2-9 特殊导线的品种、适用范围及功效

导线品种	适用范围	功效
钢芯铝合金绞线	大跨越或重冰区	提高使用应力,减少弧垂或增大安全系数
铝包钢绞线及钢芯铝包钢绞线	大跨越	提高使用应力,减少弧垂
扩径导线	高海拔地区	降低导线表面场强,减少电晕损失
防腐型钢芯铝绞线及其他防腐导线	海边、盐雾地区及工业污秽地区等对导线有严重腐蚀性的地段	耐腐蚀
耐热钢芯铝合金绞线	载流量大的大跨越或利用旧有杆塔和走廊,增加输送容量	提高载流量

导线的电阻主要决定于制造导线材料的电阻率。由于交流电流的集肤效应,同一导线的交流电阻比其直流电阻略有增大。导线的感抗不仅取决于导线本身的自感,还与导线和其他相导线、地线,以及大地等形成的互感有关。换句话说,导线的互感与各相导线排列是否对称、有无换位、导线在塔头上所处的几何位置、地线的接地方式等有关。对于分裂导线,若子导线是按多角形对称布置,且其分裂间距远小于相间距离,则在计算中可近似地用等值磁场效应的单导线来替代。对于双回路或多回路的输电线路,还应计及其他回路的影响。

在超高压输电线路路上,为了提高输送能力和自然功率,降低电晕损失,往往采用多根导线组成的分裂导线。其分裂数随线路电压的不同而异。当线路电压为220kV而输送距离较长时,导线有可能采用双分裂;线路电压为330kV时,大多采用双分裂导线;线路电压为500kV时,采用2~4根分裂导线;当电压更高,达到750kV或1000kV时,采用4~8根分裂导线。适用的相分裂导线根数,应根据工程的具体情况,经技术经济比较来确定。

3·2 架空地线

架空地线主要用作防雷,还可兼有其他多种用途,如用作屏蔽线以降低输电线路对电信线路的电磁影

响,用作载波通道等。

架空地线因用途不同,需选用不同的材料和结构。当仅用作防雷时,通常选用钢绞线即可,如还有其他用途而采用钢绞线不能满足要求时,可选用良导体架空地线,常用的有钢芯铝绞线、铝包钢绞线及钢铝混绞线等。

光纤复合架空地线(OPGW)不仅通信容量大,不受强电干扰,通信质量高,而且与线路本体结合在一起,一次施工建成,机械强度高,提高了通信的安全可靠性。在国际上,近年来得到了广泛的采用。我国也已开发制造,国产光纤复合架空地线已在线路上使用。

架空地线型号的选择除需满足机械强度的要求外,还要考虑档距中央架空地线和导线间的弧垂配合。随着短路电流的不断增大,还应对接架空地线进行热稳定校验。

在正常运行情况下,三相导线上的负荷电流和电压是平衡的,但因架空地线对各相导线的距离不相等,在架空地线上仍然要感应出一个纵电动势和对地电压,假如架空地线不绝缘,就会在架空地线与大地间构成回路,其结果是增加了线路的电能损耗。这种磁感应引起的电能损耗大致与负荷电流的二次方和线路长度成正比。对于长度为200~300km的220kV输电线路,其电能损耗每年可达几十万千瓦小时;而对于长度为300~400km的500kV输电线路,每年竟达几百万千瓦小时。为了减少电能损耗,架空地线宜采用分段绝缘单点接地的方式,如图6·2-4所示。

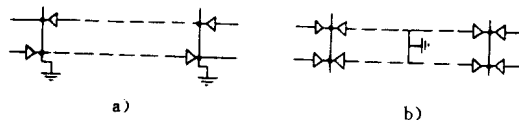


图 6·2-4 架空地线分段绝缘单点接地方式

a) 分段绝缘端部单点接地方式

b) 分段绝缘中间单点接地方式

绝缘架空地线通常加挂一片盘形悬式绝缘子与杆塔绝缘。为保护地线绝缘子免受电弧烧伤,在绝缘子上还带有一并联火花间隙。

当采用双地线时,为了降低绝缘地线上的电磁感应纵电动势,地线宜换位,并尽可能地做到对称。

3·3 相序和换位

输电线路各相导线的排列次序无统一规定,但线路上的相序必须与两端变电所进出线的相序相配合,如果不配合,则采取变换导线几何位置(简称换

位)的办法来解决。

由于架空线路上各相导线的几何位置不同,各相的阻抗和导纳不等,在网络内便引起负序和零序电流。过大的负序电流可引起网络内电机的过热,零序电流超过一定数值,便引起对邻近电信线的干扰,在中性点不接地系统,还有可能造成高灵敏度接地继电器的误动作。

为了限制上述这种正常运行情况下的电流和电压不对称,导线必须进行整循环换位。我国《电力工业技术管理法规》规定:“转子为绑线式的汽轮发电机禁止在不平衡的负荷下运行(当负序电流不超过正序电流的5%时,则认为三相电流实际上是平衡的)”。在SDJ3-79《架空送电线路设计技术规程》中规定:“在中性点直接接地的电力网中,长度超过100km的线路均应换位。换位循环长度不宜大于200km”。在设计输电线路时常需计算其正常运行情况下的电流不平衡度,以决定是否需要换位及换位的次数。对于500kV输电线路,允许的电流不平衡度通常不大于1%。

对于一个电源来说,出线回路数不止一条,因此,不能孤立地仅仅考虑一条送出线路的平衡度问题。况且随着系统的发展,出线回路数也要增加,在这方面也要留有发展余地,在线路设计中完全不考虑换位是不合适的。如一个变电所某级电压的每回出线虽小于100km,但其总长度超过200km,也应采用变换各回线路的相序排列或换位,以平衡不对称电流。当然,过多的换位也不合适,因为每个换位点往往是绝缘的薄弱环节,可能会增加事故的机率。

输电线路采用一次和二次整循环换位的布置见图6-2-5。

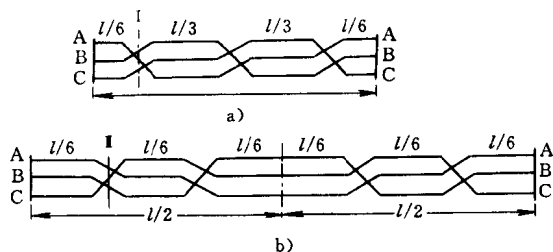


图 6-2-5 输电线路换位循环布置

a) 一个整循环换位 b) 两个整循环换位

换位的方式主要有两种:直线换位和耐张换位。直线换位方式是利用直线换位杆塔来进行换位的,又称滚式换位方式,也是最常用的一种换位方式。耐张换位方式是利用耐张换位塔来完成换位的,跳线比较复杂,

通常在地形受限的地区使用。这两种换位方式见图6-2-6。

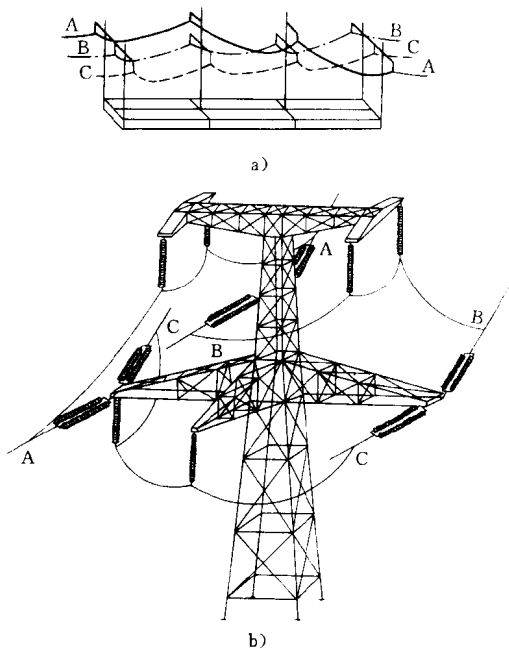


图 6-2-6 导线换位方式示意图

a) 直线杆塔换位 b) 耐张塔换位

地线换位一般在耐张塔上进行,如图6-2-7所示。

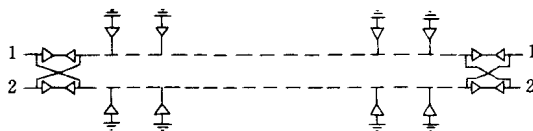


图 6-2-7 绝缘双地线换位示意图

3.4 绝缘配合

3.4.1 线路绝缘

架空输电线路的特点之一就是充分利用空气绝缘,除了在杆塔上用绝缘子固定导线或地线(需要绝缘时)外,导线与导线之间,导、地线之间,导线对地和对跨越物之间都利用空气作为绝缘。空气绝缘性能比较稳定,但当导线受风力作用偏移,或导、地线弧垂变化时,空气绝缘间隙的大小会因此而变化。尽管如此,只要选配得当,空气绝缘的可靠性一般都高于绝缘子。

绝缘子常用的是瓷质和钢化玻璃悬式绝缘子,可

根据电气和机械上的要求组成绝缘子串,广泛用于各电压等级的架空线路。瓷横担兼有横担和绝缘子的功能,可减小杆塔尺寸,缩小走廊宽度,但由于机械强度上的原因,使用范围受到一定的限制。合成绝缘子由于优越的耐污性能,以及质量小、强度高、外形美观等优点,使用量日渐增加。我国已开始生产500kV及以下各电压等级的合成绝缘子,并在线路上使用,随着制造技术的不断进步和价格的下降,预计将会得到大量的应用。架空线路也还利用木绝缘,构成瓷木综合绝缘,具有较高的冲击绝缘强度,但由于取材和维护上的原因,国内已采用不多。

按悬挂方式分,有悬垂型和耐张型两类。悬垂型用于直线杆塔,包括直线转角杆塔在内,主要用以承受垂直荷载。限制导线摆动的V型绝缘子串和跳线绝缘子串也都属于悬垂型。耐张型用于转角、耐张和终端杆塔,承受导、地线的张力和垂直荷载,所以机械荷载较大。

线路绝缘设计,就是运用绝缘配合的原理,经济合理地确定绝缘子的型式、数量和空气间隙的长度。绝缘配合有惯用法、统计法和简化统计法三种。目前,我国330kV及以下采用惯用法,500kV采用简化统计法(参见基础卷(一)第5篇第6章)。

3.4.2 绝缘子串的选择^{[1][3][6]}

绝缘子串不仅要耐受各种电压,而且还要承受机械荷载。根据机械荷载的大小,可以由单链或多链组成,每链中的绝缘子片数由电气绝缘强度确定。

绝缘子机械强度的安全系数,不应小于表6.2-10所列数值,并按下式计算:

$$K = \frac{T}{T_{\max}} \quad (6.2-13)$$

式中 T ——瓷横担的受弯破坏荷载或悬式绝缘子1h

机电试验的试验荷载(N);

$T_{\max}$ ——绝缘子最大使用荷载(N)。

表 6.2-10 绝缘子机械强度的安全系数

绝缘子种类	运行情况	断线情况
瓷横担	3.0	2.0
悬式绝缘子	2.0	1.3

线路绝缘包括空气间隙和绝缘子串,都应能耐受正常运行电压、操作过电压和雷电过电压。链中绝缘子的片数一般由正常运行电压下所需的爬电距离(或耐污闪电压)和耐受操作过电压的要求选定的。根据所选

定的绝缘子型式和片数,计算线路的耐雷水平,即能耐受多大雷电流(kA)的袭击。

对海拔为1000m以下及大气清洁的地区,直线杆塔上悬垂绝缘子串的片数,应按表6.2-11的数值选用。耐张绝缘子串由于受力较大,老化率较悬垂串的高,加上维修困难,330kV及以下的线路,其片数比表6.2-11的多一片,500kV线路一般增加两片。

表 6.2-11 直线杆塔上悬垂绝缘子片数

电压(kV)	35	110	220	330	500
绝缘子型式	XP-70	XP-70	XP-70	XP-100	XP-160
片数	3	7	13	19	28

在海拔为1000~3500m地区的绝缘子串片数,对330kV及以下电压等级的线路一般按下式确定:

$$n_h = n [1 + 0.1 (H - 1)] \quad (6.2-14)$$

式中 n_h ——高海拔地区所需的绝缘子片数;

n ——海拔为1000m以下地区的绝缘子片数;

H ——海拔高度(km)。

对于500kV输电线路,按SD119-84《500kV电力网过电压保护绝缘配合与电气设备接地暂行技术标准》附录A作海拔高度修正。

在大气污秽和沿海地区,线路绝缘子受到工业污秽、盐碱、尘土和海洋盐雾的侵袭,在绝缘子表面积污。当天气潮湿,特别是大雾、下毛毛雨和积露时,就可能发生闪络,称为污闪。污闪会引起大面积、长时间停电,造成重大损失。因此,必须予以充分的注意。

在污秽区,宜采用耐污能力强的绝缘子,其型式和片数应按照污秽分级标准和污区分布图来确定。对海拔1000m以下的高压架空线路,我国的污秽分级标准见表6.2-12。

按爬电距离决定绝缘子串的片数 n ,应符合下式要求:

$$n \geq \frac{\lambda U_c}{K_x L_0} \quad (6.2-15)$$

式中 λ ——表6.2-12中要求的爬电比距(cm/kV);

U_c ——额定线电压(kV);

L_0 ——每片悬式绝缘子的几何爬电距离(cm);

K_x ——绝缘子爬电距离的有效系数,对XP-160型绝缘子,可取1;对其他型式的绝缘子, K_x 值由试验确定。

按绝缘子串的耐污闪电压确定绝缘子片数时,应符合

$$U_{1g} = U_{50\%} (1 - 3\sigma) \quad (6.2-16)$$

式中 $U_{50\%}$ ——绝缘子串的50%污闪电压(kV);
 σ ——绝缘子串污闪电压的变异系数(%);
 U_{xs} ——最高运行相电压,即所要求的耐污闪电压(kV)。

对500kV以上的长绝缘子串,宜采用耐污闪电压

来确定绝缘子的片数。
在污秽地区,除了合理地加强绝缘外,还要在运行中进行污情监测,及时检除零值绝缘子。此外,定期清扫也是防止污闪事故的重要手段之一,宜在每年污闪频发季节前清扫一次。

表 6-2-12 高压架空线路污秽分级标准

污秽等级	污 秽 条 件		爬电比距 (cm/kV) ①	
	污 湿 特 征	盐 密 (mg/cm ²)	中性点直接接地	中性点非直接接地
0	大气清洁地区及离海岸50km以上地区	0~0.03 (强电解质) 0~0.06 (弱电解质)	1.6	1.9
1	大气轻度污染地区,或大气中等污染地区,盐碱地区,炉烟污秽地区。离海岸10~50km地区,在污闪季节中干燥少雾(含毛毛雨)或雨量较多时	0.03~0.10	>1.6~2.0	>1.9~2.4
2	大气中等污染地区,盐碱地区,炉烟污秽地区。离海岸3~10km地区,在污闪季节中潮湿多雾(含毛毛雨)但雨量较少时	0.05~0.10	>2.0~2.5	>2.4~3.0
3	大气严重污染地区,大气污秽而又有重雾的地区。离海岸1~3km地区及盐场附近重盐碱地区	>0.10~0.25	>2.5~3.2	>3.0~3.8
4	大气特别严重污染地区,严重盐雾侵袭地区离海岸1km以内地区	>0.25	>3.2~3.8	>3.8~4.5

① 爬电比距表示每千伏(额定线电压)所需的爬电距离(cm)。

3.4.3 空气间隙的确定^{[1]~[3]}

1. 带电部分对杆塔构件的空气间隙 在风力作用下,绝缘子串摇摆,带电的导线及金具与接地的杆塔构件(包括拉线、脚钉等)之间的空气间隙,应能耐受各种电压而不击穿。如图6-2-8所示, θ_1 、 θ_2 、 θ_3 和 S_1 、 S_2 、 S_3 分别为运行电压、操作过电压和雷电过电压下的摇摆角和要求的空气间隙。在海拔不超过1000m的地区,空气间隙不应小于表6-2-13所列的数值。在上述三种电压下的摇摆角可按下式计算:

$$\theta_i = \arctan \left(\frac{\frac{G_{pi}}{2} + L_{pi}}{\frac{G_w}{2} + L_w} \right) \quad (6-2-17)$$

式中 G_{pi} 、 L_{pi} ——在上述三种电压相应计算风速(参见本章1节)作用下,绝缘子串和导线所受的风荷载(N);

G_w 、 L_w ——绝缘子串和导线所产生的重力(N)。

在海拔超过1000m的地区,海拔每增高100m, S_1 和 S_2 一般可按表6-2-13的数值增大1%, S_3 按绝缘子串的片数相应增大。污秽地区间隙一般不需增大。

在确定杆塔头部尺寸时,还应满足带电作业的要求。

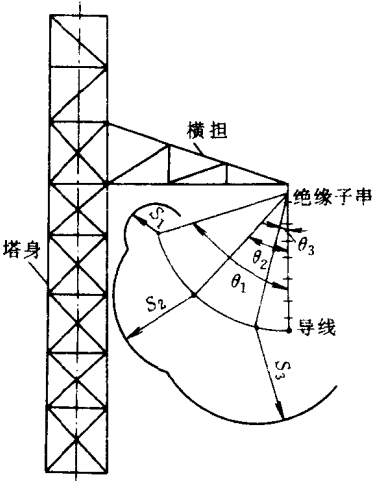


图 6-2-8 铁塔间隙图

2. 档距中央的空气间隙 杆塔上导线的布置,决定了档距中央不同相导线之间的距离。要求当导线不同步摆动时,档距中央不同相导线之间在正常运行电压下不被击穿。根据我国的运行经验,并吸取国外的有关经验,对档距在1000m以下时,导线水平相间距离D一般可按下式计算: