

高等学校教材

电力线路结构

太原工业大学 黄东惠 主 编



高 等 学 校 教 材

电 力 线 路 结 构

太原工业大学 黄东惠 主编

水利电力出版社

436027

(京)新登字 115 号

内 容 提 要

本书系高等学校“电力系统及其自动化”专业的选修课教材。全书较系统地介绍了 35~500kV 架空电力线路和电力电缆主要元件的结构、功能、基本工作原理及其运行条件与技术要求,并与电视教材相互配合,以取得对电力线路结构整体形象全面认识与掌握的更佳效果。

本书供高等学校电力类有关专业师生使用,也可供从事电力线路工作的工程技术人员参考,也可作为有关专业人员的培训教材。

高 等 学 校 教 材

电 力 线 路 结 构

太原工业大学 黄东惠主编

*

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

华云电子数据中心照排

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 6.5 印张 140 千字

1995 年 2 月第一版 1995 年 2 月北京第一次印刷

印数 0001 1210 册

ISBN 7-120-02123-0/TM·583

定价 3.90 元

前 言

本书是根据 1990 年 10 月高等学校电力工程类专业教学委员会电力系统组会议上审定的“电力线路结构”教材编写大纲编写的。

考虑到电力线路结构部分的内容在《电力系统稳态分析》教材中不可能占用太多的篇幅，学生也不可能到各种电压等级的电力线路实习，而掌握电力线路的结构和基本工作原理，对于“电力系统及其自动化”专业的学生又是十分必要的。因此，编写了这本教材，以加强电力专业目前教学中这一薄弱环节。

本教材运用现代化教学工具，采用文字教材与电教教材相结合的形式，电教教材将电力线路的结构在各种气象条件下的运行状况显示在屏幕上，以加深学生对电力线路结构整体形象的感性认识，文字教材则较系统地介绍了 35~500kV 架空电力线路和电力电缆主要元件的结构、功能和基本工作原理，它既能与《电力线路结构》电教教材配合，又在工作原理、设计选择方法等方面给予补充，并能自成体系。

本书经上海电力学院陆敏政教授审阅，并提出了不少宝贵的意见和建议。此外，在编写过程中又得到西安交通大学夏道止教授和山西大同超高压供电公司李臻高级工程师的指导和帮助，受益匪浅，在此谨致谢忱。

本书的第六章、第七章由太原工业大学韩肖清同志编写，其余各章由太原工业大学黄东惠同志编写，并担任主编。

由于作者水平有限，本书中错误和不妥之处请广大读者不吝指正。

作 者

1994 年 5 月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 目前世界上的输电技术水平	1
第二节 电力网的电压等级	1
第三节 架空电力线路的构成	2
第四节 线路结构的几个基本参数	2
第二章 架空电力线路的运行条件和气象条件	5
第一节 架空电力线路的运行条件	5
第二节 气象条件的确定与气象区的划分	9
第三章 导线和避雷线	16
第一节 电线的种类与选用	16
第二节 导线的排列与换位	20
第四章 杆塔	23
第一节 杆塔的分类	23
第二节 杆塔的形式	24
第三节 高压架空电力线路常用杆塔及应用范围	32
第四节 杆塔基础形式	34
第五章 架空电力线路的绝缘	38
第一节 线路绝缘子构造及其特性	38
第二节 电力线路的绝缘配合	46
第三节 防雷保护	50
第四节 绝缘避雷线	54
第六章 金具	57
第一节 金具的分类和用途	57
第二节 悬垂线夹	58
第三节 耐张线夹	59
第四节 连接金具	60
第五节 接续金具	63
第六节 机械保护金具	64
第七节 电气保护金具	69
第八节 拉线金具	72
第九节 绝缘子与金具的组装	73

第七章 电力电缆	94
第一节 电力电缆的品种与结构	94
第二节 电缆的附件	96

第一章 概 述

第一节 目前世界上的输电技术水平

高压电力线路是电力系统的重要组成部分，随着发电厂及整个电力系统容量的日益增加，电力线路输送功率随之急剧增大，电力网的电压等级也不断提高。目前，电力工业发展最快的美国、独联体和加拿大已建成数万公里长的超高压电力线路，500kV 和 750kV 级的电力网已经形成，正在建设 1050kV 或 1150kV 的特高压电力网。我国也已建成数千公里长的 500kV 超高压电力线路，而且随着我国电力工业进入大系统、大电网、大容量机组、超高压交直流输电的发展阶段和西电东送所不可避免要出现的远距离输电，正以前所未有的速度扩大超高压电力网的建设。

目前世界上超高压和特高压架空电力线路在技术上有很大的发展，归纳起来有如下主要特点：

- (1) 架空线路导线至杆塔构件及地面的距离较大；
- (2) 绝缘子串较长，线路金具零件必须是防电晕的；
- (3) 架空线路的所有元件，都要求有更高的可靠性；
- (4) 通过采用相分裂导线的办法，限制电晕损失、无线电干扰及可听噪音；
- (5) 在风及覆冰的动力作用下，超高压架空线路的相分裂导线要求特定的运行条件；
- (6) 在导线附近及线路路径上的电场强度相当高；
- (7) 在长距离超高压电力线路上必须开通大量的高频通道。

第二节 电力网的电压等级

由于三相功率 S 和线电压 U 、线电流 I 之间的关系为 $S = \sqrt{3}UI$ ，输送功率一定时，输电电压愈高，电流愈小，导线等载流部分的截面积愈小，投资愈小；但电压愈高，对绝缘的要求愈高，杆塔、变压器、断路器等绝缘的投资也愈大。综合考虑这些因素，对应一定的输送功率和输送距离有一最合理的线路电压。但从设备制造角度考虑，为保证生产的系列性，又不宜任意确定线路电压。同时，规定的标准电压等级过多也不利于电力工业的发展。考虑到现有的实际情况和进一步的发展，我国国家标准规定的标准电压（又称额定电压）有 3、6、10、35、(60)、110、(154)、220、330 和 500kV。其中，154、60kV 不宜推广。

表 1-1 中列出了根据经验确定的、与各额定电压等级相适应的输送功率和输送距离，供参考。与 220kV 以上电压等级相适应的输送功率和输送距离则示于图 1-1。

通常将 35~220kV 电压等级的电网称为高压电网；220kV 以上、1000kV 以下电网称为超高压电网；1000kV 以上电网称为特高压电网。

表 1-1 与各额定电压等级相适应的输送功率和输送距离

额定电压 (kV)	输送功率 (kW)	输送距离 (km)
3	100~1000	1~3
6	100~1200	4~15
10	200~2000	6~20
35	2000~10000	20~50
60	3500~20000	30~100
110	10000~50000	50~150
220	100000~500000	100~300

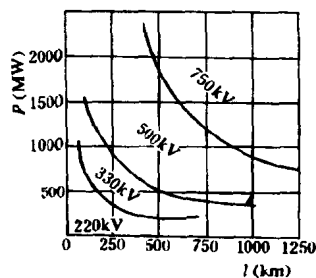


图 1-1 与 220kV 以上电压等级相适应的输送功率和输送距离

第三节 架空电力线路的构成

电力线路按结构可分为架空线路和电缆线路两大类。架空线路是将导线架设在杆塔上；电缆线路是将电缆敷设在地下（埋入土中或沟道、管道中）和水底。架空线路应用广泛，因为它比电缆线路有一些显著的优点。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。所以除特殊情况（如地形限制，污秽地区，大城市中心，过江跨海以及特殊的要求等）外，应优先采用架空线路。

架空线路由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等主要元件构成，如图 1-2 所示。它们的作用分别是：

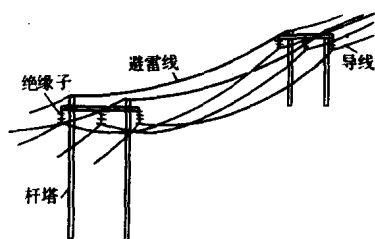


图 1-2 架空电力线路

- (1) 导 线。传导电流，输送电能。
- (2) 避雷线。将雷电流引入大地以保护线路绝缘免遭雷击。
- (3) 杆 塔。支持导线和避雷线，并使导线和导线间、导线和杆塔间、导线和避雷线间以及导线和大地间保持一定的安全距离。
- (4) 绝缘子。使导线和杆塔间保持绝缘状态。
- (5) 金 具。支持、接续、保护导线和避雷线，连接和保护绝缘子。

第四节 线路结构的几个基本参数

一、档距

架空线路相邻杆塔间的水平距离，称为线路的档距，如图 1-3 所示。

线路档距的大小，取决于技术和经济的要求。档距小，杆塔数量多，线路造价就增加；档距大，导线拉力大，弧垂大，要求导线和杆塔的机械强度高、杆塔高度增加，从而也增

加了杆塔的建造费用。所以，档距的选择要通过技术经济比较来确定。

二、安全距离

为了电力线路的安全运行，我国规程规定：导线与地面、建筑物、树木、铁路、道路、河流、管道、索道及各种架空线路之间，必须保持最小的距离。这个距离称为安全距离，见图 1-3。

这些距离示于表 1-2 中。

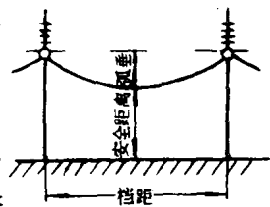


图 1-3 档距、弧垂和安全距离

表 1-2 导线与被跨越物的最小距离

跨 越 物		最小垂直距离 (m)				备 注
		35~110kV	154~220kV	330kV	500kV	
居 民 区		7.0	7.5	8.5	14	导线最大弧垂下 (+40℃)
非 居 民 区		6.0	6.5	7.5	11	
交通困难或仅步行可到达的地区		5.0	5.5	6.5	9	
步行不能到达的山坡、峭壁、岩石		5.0	5.5	6.5	8.5	导线最大风偏情况下
		3.0	4.0	5.0	6.5	
对树木自然生长高度	垂直距离	4.0	4.5	5.5	7.5	导线最大弧垂下 (+40℃)
	净空距离	3.5	4.0	5.0	7.0	导线最大风偏情况下
对果树、经济作物城市街道防护林		3.0	3.5	4.5	8.5	导线最大弧垂下 (+40℃)
对通讯线		3.0	4.0	5.0	8.5	导线最大弧垂下
铁 路	公用铁路至轨顶	7.5	8.5	9.5	14	导线+70℃时最大弧垂下
	非公用铁路至轨顶	7.5	7.5	8.5	13	导线+40℃时最大弧垂下
	至承力索或接触网	3.0	4.0	5.0	6.5	导线+70℃时最大弧垂下
公路路面	等级公路	7.0	8.0	9.0	14	
	非等级公路	7.0	8.0	9.0	12	导线+40℃时最大弧垂下
不通航河流	至百年一遇洪水位	3.0	4.0	5.0	7	
	冬季至冰面	6.0	6.5	7.5	11	
电力线	至导(地)线	3.0	4.0	5.0	6	
	至杆塔顶				8.5	

三、弧垂

在档距中导线的最低点与连接两悬挂点的水平线之间的垂直距离，称为导线的弧垂，如图 1-3 所示。

导线弧垂的大小，取决于导线的张力和档距的大小，并随气象条件（温度、风向、风速、覆冰情况等）的变化而变动。当气温升高时，由于导线的伸长而使导线张力降低和使弧垂增大；相反，当气温降低时，则由于导线的缩短而使拉力增大和弧垂减小；当导线上覆冰或受风压时，由于机械负载的增加，导线的张力和弧垂都将增大。弧垂过大，则导线对地面、水面或其他被跨越物的距离就要减小，为保证安全距离，必须采用高杆塔或调整档距。

四、次档距

高压和超高压电力线路常采用分裂导线。分裂导线是每相由几根截面相同的导线并联

组合而成。其每根线称为次导线，两根次导线间的距离称为次线间距离，一般在次导线间每隔 30~80m 装一个间隔棒，其作用是保证导线受各种外力作用时，不致改变次导线在档距中间的几何形状，且当导线受风时，能使导线避免鞭击。间隔棒自身则应构成不变的平面或空间体系。相邻间隔棒间的水平距离称为次档距。

第二章 架空电力线路的运行条件和气象条件

第一节 架空电力线路的运行条件

架空电力线路在野外运行时，长年遭受大自然各种气象和环境的影响，因此，其各方面的运行条件都与其所处地区的气象条件有关。这些影响主要是大气的温度和密度、雷、雨、覆冰、风以及大气污秽等。现分别叙述如下。

一、大气温度

大气温度的变化将引起导线张力和弧垂的改变。因此，气象条件必须给定线路所处地区的年平均气温、最高气温、最低气温和大风、覆冰、出现大气过电压、内过电压、安装等各种情况下的气温。

二、雷电

在架空电力线路上，雷电可能击中架空避雷线或绕过避雷线而击中相导线（避雷线保护失效）。由于雷击线路的结果，可能造成杆塔的空气绝缘间隙或档距中遭雷击的避雷线与导线间的空气绝缘间隙击穿，以及绝缘子串的闪络。因此，必须采取相应的防护措施。

三、覆冰

架空线上的冰层是空气中的“过冷却”水滴降落时，碰到低于 0°C 的架空线后形成的。由于线路所经过地区的气象条件和地理条件不同，覆冰种类大致分为雾凇冰和雨凇冰两类。雾凇冰容重较轻（约 $0.1\sim 0.4\text{g}/\text{cm}^3$ ），呈针状或羽毛状结晶，冻结不密实。雨凇冰容重较大（约 $0.5\sim 0.9\text{g}/\text{cm}^3$ ），冻成浑然一体的透明状冰壳，其附着力很强。架空线覆冰常指这种雨凇冰而言。

形成雨凇冰的气温多在 $0^{\circ}\text{C}\sim -10^{\circ}\text{C}$ 之间，此时风速多在 $5\sim 15\text{m}/\text{s}$ 之间，空气湿度约为80%以上。架空线上覆冰还与地形、地势条件有关。如平原中的突出高地，暴露的丘陵顶峰和高海拔地区以及迎风山坡等处，其覆冰情况，均相对地比较严重。

导线和避雷线覆冰后，一方面将加大导线和避雷线加给杆塔的垂直机械荷载；另一方面，由于导线和避雷线受风面的增大，也将加大导线和避雷线施加于杆塔的水平机械荷载。与此同时，导线和避雷线的张力和弧垂也都会增大。

此外，由于导线覆冰而在气流中形成对空气动力不稳定的外形，还会引起导线的舞动。

四、风

风对架空电力线路的影响有以下三个方面：

（一）风压

导线、避雷线、绝缘子串和杆塔的迎风面都将受到水平方向的机械荷载。

（二）悬垂绝缘子串的偏斜

在风的作用下，导线和悬垂绝缘子串将会偏斜。这时，就要检验导线与杆塔构件间的空气间隙是否足够。

(三) 导线的振荡

导线的振荡是风作用在导线上所引起的，这些振荡具有不同的频率，而每种频率都是导线固有振荡频率的一种。导线振荡的形式与风的特性（风速及其持续性和稳定性，以及风与线路路径的方向）和导线覆冰或覆冰雪混合物的特性（形状和密度）有关。

导线振荡按频率和振幅可分为三种基本振荡形式：导线振动（又称风振动）、舞动和采用分裂导线的线路所发生的次档距振动。

1. 导线振动

当振动时导线或避雷线主要在垂直面产生波动，它的最大双倍振幅约等于导线直径，频率较高（约 $10\sim 120\text{Hz}$ ）。一年中振动的时间常达全年时间的 $30\%\sim 50\%$ 左右。振动时导线在悬挂点处反复拗折，引起材料疲劳，最后导致断股、断线事故。

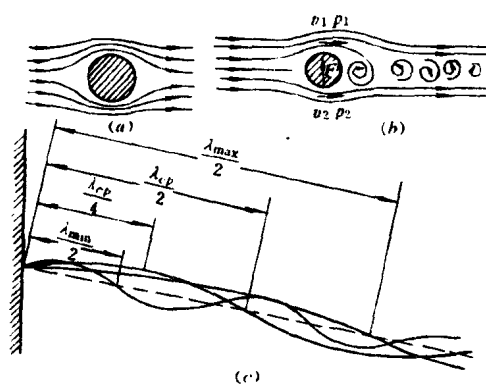


图 2-1 环绕导线的气流图

(a) 层流情况；(b) 湍流情况；

(c) 在导线上形成不同长度驻波的情况。

导线振动是由于稳定的微风吹过导线或避雷线时，在其背风面的气流由层流过渡到湍流后形成涡旋而发生的〔图 2-1(a)、(b)〕。这种驻波振动型式可以看成是两端固定的弦线振动型式。在小风速情况下，气流平稳地绕过导线〔图 2-1(a)〕。当风速增大时，在导线背风面形成轮流变换其旋转方向的气流涡旋〔图 2-1(b)〕。按照空气动力学理论，涡旋时而在导线上方，时而在导线下方，降低了气流层移动的速度，这就使导线上、下方压力轮流改变。在导线上的这种压力变化使风能转换成冲击力，它是引起导线振动的根源。导线在开始时横着气流方向移动，当涡旋脱离的频率与档中导线的固有频率之一相重合时，

导线便产生了谐振〔图 2-1(c)〕。这是因为各点涡旋的脱离是随机的，故作用在导线上的力，沿着导线长度上各点的相位也是随机的。因此不是一有风，导线就会振动，而是如果导线以某一固有频率振动，此频率与冲击力的频率相近在 $\pm 20\%$ 范围之内，则涡旋的脱离，受导线的振动频率控制，同时沿导线各点脱离，形成同步，结果导线或避雷线的微风振动就开始了。

风振动容易在下列地点发生：导线拉力大而对地距离高的地方；风阻力小的平原开阔地带；山谷河流等大跨越地段。在大跨越档距中，不但有横向的风力，而且由于上下层空气有温差，还会产生垂直向上的气流，此时导线振动损害会更严重。一般认为，分裂导线的风振动较单导线为小。

2. 舞动

舞动时，整档导线的振荡主要发生在垂直平面上。导线沿长轴少许向背风面倾斜的椭圆形轨道运动（图 2-2）。舞动最有代表性的频率是 $0.1\sim 0.75\text{Hz}$ ，而且在档中形成一个、两个或三个半波。当导线在有横向风情况下发生舞动时，在导线上作用有垂直上升的力，这种作用力是由于导线覆冰截面具有特殊的外形，使导线在气流中具有不稳定的空气动力特

性而产生的。正如导线振动一样，导线舞动发生于其固有频率之一，且属于自振特性现象。同时，导线自身运动又对维持振荡过程的气流能量的吸收起调节作用。冲击气流的冲击角的变化促使导线移动，直到受拉导线的弹性力阻止了它的移动为止。当导线沿椭圆轨道反向运动时，上升力便作用在相反的方向，且使振荡过程重复发生，能持续几小时。导线舞动具有行波或驻波形式〔图 2-2(a)〕，而且导线沿短轴为 0.3 ~ 0.5 倍长轴的椭圆形轨道运动或沿垂直方向运动〔图 2-2(b)〕。

通常，导线舞动发生在覆冰厚度达 3mm 以上，气温为 0 ~ -5℃ 的情况下。同样，在更低气温 (-10℃) 下也可能发生，其相应风速为 8 ~ 16m/s。在线路方面较易引起舞动的因素是：导线截面大（直径超过 40mm）；分裂导线的根数较多；导线离地较高等。此外，电晕严重的线路，导线也容易发生由电晕引起的舞动。由于舞动的振幅大（可达几米），有摆动，因此容易引起相间闪络，造成线路跳闸停电或引起烧伤导线等严重事故。

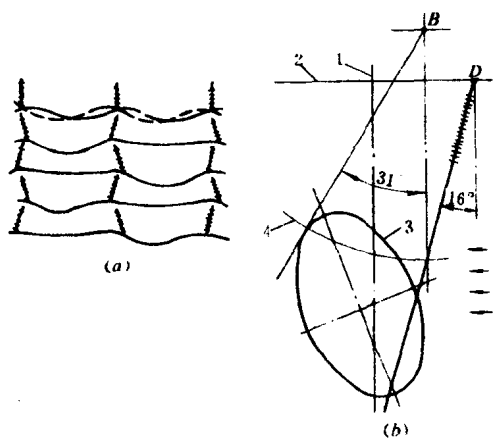


图 2-2 在舞动情况下输电线路导线位移图
(a) 档内具有不同半波数的导线振荡形式；
(b) 舞动时导线位移轨迹 D 和 B—塔上导线和避雷线的悬挂点
1—杆塔轴线；2—横担；3—导线椭圆形位移轨迹；
4—避雷线在风作用下摆动的位移轨迹

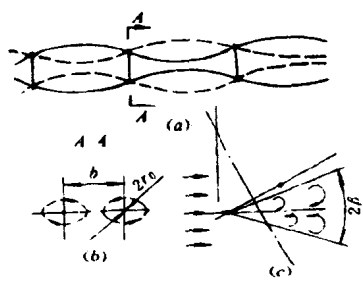


图 2-3 双分裂导线的次档距振动
(a) 俯视图；(b) 顺线路 A-A 截面视图
(虚线表示相分裂导线运动轨迹)；
(c) 在风作用下当导线偏斜时迎风侧与背风侧分裂导线相互位置图

3. 次档距振动

次档距振动是指相邻间隔棒之间次导线的振动。在风速为 4 ~ 18m/s 情况下，当分裂导线束中的背风侧子导线落到迎风侧子导线周围所形成的涡旋气流的空气动力尾流中时，分裂导线束就会产生振动。这两根子导线所产生的相反方向的振动，频率为 0.7 ~ 2.0Hz，振幅为 5 ~ 10cm，振动主要在水平方向上并沿椭圆形轨迹运动，迎风侧分裂子导线的尾流流迹的极限角为 $\pm 20^\circ$ ，距离为导线直径的 20 倍（图 2-3）。

次档距振动在任何相分裂导线根数的超高压和特高压电力线路上都会发生，其振幅可能增大到使次档距中央的导线混线而互相鞭击，损伤导线和间隔棒，甚至损坏金具而使导线落地。

五、大气的污秽

线路绝缘子，特别是在工业区、海岸和盐碱地区线路运行的绝缘子，常会受到工业污秽或自然界盐碱、飞尘等的污染，在其表面形成一定的污秽层。在干燥情况下，这种污秽层的电阻很大，对运行没有危险，但遇到潮湿气候时，污秽层被湿润，不仅在过电压情况下，而且在工作电压下都可能发生污秽闪络（简称污闪）。

形成绝缘子表面污秽层的沉积物是多种多样的，但使绝缘子闪络电压降低最显著的是含有大量可溶性盐类或酸、碱的积尘。有些粘附力很强的积尘，如水泥厂的飞尘，它沉积在绝缘子表面后不易清洗掉，使绝缘子表面粗糙而更易积污，因而对绝缘子的运行危害性更大。

潮湿气候是引起绝缘污闪的必要条件。一般当空气相对湿度小于 50%~60% 时，污秽绝缘子的沿面闪络电压降低很少，随着湿度增加，闪络电压迅速下降。运行经验表明，引起污闪的气象条件主要是雾、露、雪和毛毛雨。

在潮湿和污秽条件下提高线路绝缘运行的安全性，靠改善绝缘结构上的措施是可以达到的。这些措施可使绝缘子表面的污秽难于沉积，并可促进其天然的自清洗作用——用雨水冲洗沉淀物和沉淀物中的导电杂质。

六、电晕

在导线表面及其附近的电场强度超过空气的击穿强度时，在导线表面就形成电晕放电。或者说导线表面及附近产生局部击穿的放电现象叫线路电晕。在导线表面及其附近的电场中空气的击穿强度受许多条件的影响，如气压、导线材料、水蒸汽的存在、光游离和电压类型等。导线表面的不规则性，例如脏污的微粒、突出的毛刺等都会引起电位梯度集中而形成电晕放电。电晕放电将产生光、可听噪音、无线电杂音、导线振动、臭氧和其他生成物，同时还产生电能损失。对电力线路电晕问题，各国已进行长期的研究，目前已掌握其基本规律。

220kV 及以下电力线路，导线的电位梯度一般较低。但是 220kV 以上的超高压线路，由于经济的考虑，通常导线的电位梯度在正常运行时为起始电晕梯度（一般在 20~30kV/cm 之间）的 80% 以上，而新架设的线路，导线表面有许多明显的不规则处，电晕起始电压较低。表面不规则处电晕形成的自由电荷引起的局部离子轰击，能磨蚀掉导线表面的毛刺，而且能帮助除去表面的污秽物和其他好天气下的电晕源。

新导线运行半年以上后，受到天气的作用就会老化。这时，电晕损失、无线电干扰水平等都会逐渐减少约 25%。另外，老化的导线具有亲水性，会将表面水滴吸入到各股线中，而新导线是憎水性的，有较多水滴停留在导线表面。因此，在有雨滴情况下新导线电晕严重。

大气条件，诸如空气密度、湿度、风、降雨、降雪及降霜等，都以各种方式影响着电晕的产生。

空气密度和相对湿度影响着电晕起始电位梯度。空气密度和相对湿度愈大，电晕起始电位梯度愈高，就相当于电晕放电水平愈低。

风增加了正极性流注的活跃性，因为风将负半周产生的空间电荷吹掉。当无风时，该

空间电荷将减弱电晕源的表面电位梯度，从而抑制了正极性流注的形成。

风、雪、霜、雾等降落时，这些小质点经过导线引起导线对质点放电，这时也会发生电晕放电。质点临近导线时引起局部电场畸变，由于感应作用，质点两端呈现偶极子电荷分布，这种电荷使电场强度增加而引起放电。

此外，超高压电力线路在好天气下产生电晕主要是空中降落物，如灰尘、鸟粪等。而大气条件也对导线上好天气的电晕源性质有影响，因而改变了电晕特性。

大气状态也对无线电杂音有影响。大气的相对空气密度减少或风速增大都会使无线电杂音增加。湿度的增加会减小无线电杂音，一直到导线表面形成水滴时为止，形成水滴后电晕损失却急剧增加。

第二节 气象条件的确定与气象区的划分

架空电力线路一年四季在外界大气中，因此随着气象变化，线路的机械强度和电气强度也在变化。而机械荷载不仅影响着线路本身长度、弧垂和张拉应力，也决定杆塔和杆塔基础的受力及各种安全距离等。所以在设计电力线路时，气象条件的合理选取显示出其特有的重要性。

架空电力线路设计用气象条件，广义地说是指用那些与架空电力线路的电气强度和机械强度有关的气象参数，如风速、覆冰情况、气温、湿度、雷电参数等。

一、气象资料的主要内容与用途

为使架空电力线路适应自然界的气象变化，在设计时，应全面考虑沿线的全部气象情况，并进行分析。如果一条电力线路较长或气象区复杂，可分段选择气象区。气象资料主要有：

(1) 最大风速。它是考虑杆塔和电线强度的基本条件。

(2) 电线覆冰。覆冰厚度是设计杆塔及电线强度的依据，并验算不均匀覆冰时电线纵向不平衡张力及垂直布置的导线接近的距离。

(3) 年平均气温。在防震设计中，一般用平均气温时电线的应力作为计算控制条件。

(4) 最高和最低气温。最高气温用来计算电线最大弧垂，使电线对地面或其它构筑物保持一定的安全距离。最低气温时，由于电线可能产生最大应力，因此可以检查绝缘子串上扬或电线上拔及电线防震计算等。

(5) 雷电日数。主要用于防雷计算。

二、气象条件的确定

(一) 最大风速值的选择

1. 最大基本风速的取值

我国规定，线路最大基本风速按电压分级，330kV 及以下为距地面 15m 高处 15 年一遇 10min 平均的最大风速；500kV 为距地面 20m 高处 30 年一遇 10min 平均的最大风速。上述架空线距标准荷载的重现期，是在现有线路大量成功的运行经验的基础上，作为标准而取用的。重现期越长，说明该风速越稀少，即风速越大。

为了选择最大风速值, 首先应将收集的不同高度、不同时距、不同观测次数的历年最大风速资料, 统一换算为高度为 10m 的连续自记 10min 平均值, 再根据保证率的要求 (如 15 年一遇), 经过概率计算求出的最大风速即是最大基本风速。

(1) 风速次时换算。我国许多气象台多采用一天定时观测 4 次 2min 平均风速, 因此必须经过观测时距和次数的两重订正, 即次时换算, 才能将定时 2min 平均风速换算为连续自记 10min 平均风速。这种换算是根据具有定时和连续自记的平行观测资料, 而通过相关分析建立回归方程进行的。

4 次定时 2min 与连续自记 10min 关系式见表 2-1。

表 2-1 自记风速与 v_2 换算公式

地 区	换 算 公 式	应 用 范 围
华 北	$v_h = 0.822v_2 + 7.82$	北京、天津、河北、山西、河南、内蒙、关中、汉中
东 北	$v_h = 1.04v_2 + 2.20$	辽宁、吉林、黑龙江
西 北	$v_h = 1.004v_2 + 1.57$	陕北、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏
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、台湾
江 苏	$v_h = 0.78v_2 + 8.41$	上海、江苏
山 东	$v_h = 1.03v_2 + 2.19$	山东
云 贵	$v_h = 0.751v_2 + 6.17$	云南、贵州
渤 海	$v_h = 0.93v_2 + 0.35$	海南

注 v_h 为连续自记 10min 平均风速; v_2 为 4 次定时 2min 平均风速。

(2) 风仪高度影响的换算。由于气流和地面的摩擦作用, 使离地不等高度上风速的分布不均匀, 离地越高, 风速越大。

将经过次时换算后得到的连续自记 10min 平均风速 v_h , 统一换算为 10m 或 20m 高度的连续自记 10min 平均风速 v_0 , 对于观测高度在 100m 以下的低空时, 采用下面对数公式换算

$$v_0 = v_h \frac{\lg h_0 - \lg z_0}{\lg h - \lg z_0} = k_0 v_h \quad (2-1)$$

式中 v_0 ——距地面高度为 $h_0 = 10\text{m}$ 或 20m 高的连续自记 10min 平均风速 (m/s);

v_h ——距地面高度为 h (观测高度) 的连续自记 10min 平均风速 (m/s);

z_0 ——为地面状况系数, 一般在 0.01 ~ 0.2 范围内, 对空旷平坦的观测地区可取 0.03, 对海面取 0.003;

k_0 ——基本高度的风速换算系数。

表 2-2 列出了空旷地区系数 k_0 随高度的变化值。

表 2-2 空旷地区系数 k_0

观测高度 h (m)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
k_0	1.04	1.0	0.97	0.945	0.926	0.908	0.894	0.881	0.87	0.86	0.85	0.841

(3) 最大基本风速选择。前面提到的重现期，从概率的概念来理解它，如“几年一遇的最大风速”，即为一定出现的频率下的最大风速，如 20 年一遇相当于 5% 出现频率。因此，最大基本风速的选取，是根据搜集到的历年最大风速值，经过时距、高度统一换算，以气象方面有关概率统计的方法求出最大风速分布概率。例如用极值分布理论、皮尔逊 III 型曲线等，但这些计算方法较麻烦，线路设计中可以采用较为粗略但较简便的经验频率法。计算公式为

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (2-2)$$

式中 P —— 风速出现频率；

m —— 将统计年份内出现的全部风速值由大到小按递减顺序列表编号(每个风速不论数值是否相同皆须占一个编号)，则序号即为该风速的 m 值；

n —— 统计风速的总次数。

要计算保证频率 P (如 $P = 0.05$ 即 20 年一遇； $P = 0.1$ 即 10 年一遇) 时的最大风速，可将 P 和总次数 n 代入上式，求出风速递减序号 m ，序号所对应的风速即为在保证频率下的选用值。若求出的 m 不是整数，相邻两序号中的风速可用插入法求之。

2. 高空风速换算

由于地面有摩擦力的影响，风速随高度的变化而变化。一般风速随高度增加而增大，在低气层中增加很快，而当高度很高时则增长逐渐减慢。因此对于架设高度大于基本风速高度的线路，其最大风速则需由最大基本风速换算为高空风速。

如 220kV 杆塔等按高度分段，则将地面高 15m 基本风速 v_0 乘以高度系数 k_h ，即得该段高空风速 v_h

$$v_h = k_h v_0 \quad (2-3)$$

其中 k_h 按表 2-3 选用。

表 2-3 杆塔分段高度系数

距地面高度 (m)	30 以下	30~50	50~70	70~100	100 以上
高度系数 k_h	1.0	1.16	1.225	1.28	1.38

另外，对于微地形条件下风速的选取，设计规程规定，线路通过城市或森林等地区，如两侧屏蔽物平均高度大于杆塔高度的 2/3，其最大设计风速宜较一般地区减小 20%。

线路通过山区或丘陵地区，一般应以附近平地气象台的资料为准。但对这些地区中的某些跨越峡谷、河道或位于暴露的山脊、顶峰，沿迎风坡及垂直于开口的山口、山沟汇交口等处的线路区段，其风速值应较平地适当增加，如无可靠资料时，一般可按附近平地风速增加 10%。

(二) 架空电力线覆冰厚度的选择

由于目前对架空电力线覆冰方面的气象资料积累不多，因此设计时要特别注意调查已有电力线、通信线的覆冰情况，以确定覆冰厚度。架空电力线上覆冰的厚度是指圆环形的厚度，但实际覆冰断面可能是各种不规则形状。这样，应将其换算成圆筒形，以便于计算