



“十三五”普通高等教育本科规划教材

输电线路工程系列教材

架空输电线路 运行与检修

罗朝祥 高虹亮 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

输电线路工程系列教材

架空输电线路 运行与检修

主 编 罗朝祥 高虹亮
副主编 邓长征 智 李
编 写 石 毅 王 爽 李方宇
常 鹏 邱 立 李进杨
邓海峰
主 审 肖 琦



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

本书作为输电线路工程专业的专业课程教材,全书以架空输电线路作为研究对象,分8章介绍了架空输电线路运行的基本要求、输电线路常见故障及预防、运行中的巡视与测试、架空输电线路的停电检修、带电作业、架空输电线路的状态检修、架空线路运行中的管理、特高压输电线路的运行维护。

全书符合我国现行各级电压等级架空输电线路的最新国家和行业标准、规程、规范。

本书可作为高等学校相关专业的课程教材,也可供从事输电线路设计、施工、运行检修等工程技术人员参考。同时可作为输电线路运行维护培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

架空输电线路运行与检修/罗朝祥,高虹亮主编. —北京:中国电力出版社,2017.4

“十三五”普通高等教育本科规划教材. 输电线路工程系列教材

ISBN 978-7-5123-9993-8

I. ①架… II. ①罗… ②高… III. ①架空线路-输电线路-电力系统运行-高等学校-教材②架空线路-输电线路-检测-高等学校-教材 IV. ①TM726.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第036588号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:陈 硕(010-63412532) 代 旭

责任校对:常燕昆

装帧设计:王英磊 张 娟

责任印制:吴 迪

印 刷:三河市百盛印刷厂

版 次:2017年4月第一版

印 次:2017年4月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:18.75

字 数:457千字

定 价:42.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前言

改革开放以来,电力工业走过了一条辉煌的改革发展之路。电力结构不断优化,电力工业装备和技术水平已跻身世界大国行列。电网改造和大电网建设速度不断加快,输电线路的规模和输电电压等级均处于世界前列,输电线路建设发展水平已处于世界先进地位。为保障我国强大电网的安全可靠运行,适应输电线路的智能巡视、状态检修以及数字化运行的发展趋势,需要培养更多输电线路工程专业高层次人才,满足电力行业的需求。

输电线路工程专业是一个根据电网发展形成的新型专业,属于高校本科专业目录外的跨学科专业,当前用于教学的输电线路运行维护教材甚少,因此,我们组织具有输电线路工程专业教学经验的教师和电网公司工程技术及管理人员共同编写了本书。本书将作为输电线路工程专业的系列教材之一。

本书是在丰富的教学经验的基础上编写完成的,并结合电网公司运行单位的经验以及国家和行业的标准、规程、规范。教材彰显输电线路工程专业理论和实践并重教育的特色,教材编写内容保证理论知识,突出实践知识,力求新技术、新工艺的全面覆盖。作为输电线路工程专业的系列教材,全面系统地阐述了输电线路运行、检修、管理方面的知识,突出输电线路工程的特色专业教育。

本书是以运行中的架空输电线路作为对象,涉及线路的各主要组成元件。研究内容包括两大部分。一是运行部分,介绍线路正常运行的要求、保证措施及方法。内容包括:①线路运行的基本概念、保证线路正常运行的条件及要求等,针对架空线路的运行环境,从设计、施工、维护等角度对线路的各组成元件及整体提出一些具体的要求。②保证线路正常运行的措施;介绍运行中的巡视、检测项目、方法及要求等。③线路运行中的常见故障及预防措施;介绍线路在运行过程中发生故障的起因、现象、影响因素及预防措施等。④运行线路的管理;简要介绍线路运行的管理制度及技术管理、缺陷管理和设备评级等内容。二是检修部分,介绍正常维护、事故检修的方法及措施等。内容包括:①架空输电线路的常规检修项目及检修标准等;②停电检修的方法,安全、技术和组织措施等;③带电作业的基本原理、方法及安全技术要求等;④状态检修的技术支持、依据、检修策略、实施标准及管理体系等。

本书编写组人员来自三峡大学和电网公司。罗朝祥、高虹亮、邓长征、智李、邱立、李方宇、常鹏、王爽为三峡大学教师;李进扬来自湖北省电力公司运检部;石毅来自湖北电力检修公司宜昌运维部;邓海峰来自宜昌供电公司运维检修部。全书由罗朝祥、高虹亮作主编,邓长征、智李作副主编,编写组成员共同完成教材的编写、校对工作。本书在编写中参考和引用了部分专家、学者的专著和研究成果,在此表示衷心的感谢。

编者

2017年1月于三峡大学

目 录

前言

1 架空输电线路运行的基本要求	1
1.1 概述	1
1.2 导线、地线的要求	2
1.3 绝缘子和金具的要求	12
1.4 杆塔与基础要求	19
1.5 接地装置要求	22
1.6 特殊区段的运行要求	24
1.7 线路保护区的运行要求	26
习题	27
2 输电线路的常见故障及预防	28
2.1 影响因素及常见故障	28
2.2 雷击故障及防雷措施	30
2.3 绝缘子的污闪故障及预防	50
2.4 大风故障及预防	62
2.5 振动故障及预防	66
2.6 覆冰故障及预防	82
2.7 其他故障及预防	91
习题	95
3 架空线路运行中的巡视与检测	96
3.1 架空输电线路运行中的巡视	96
3.2 架空输电线路的检测项目及周期	104
3.3 限距、交叉跨越距离和导线弧垂的测量	106
3.4 导线连接器的测量	114
3.5 劣化绝缘子的检测	116
3.6 绝缘子污秽检测	127
3.7 导线、避雷线振动的测量	134
3.8 杆塔倾斜检测	136
3.9 雷电参数的测量	138
3.10 接地电阻的测量	140
习题	146
4 架空输电线路的停电检修	148
4.1 检修内容与周期	148
4.2 停电检修的组织措施	151

4.3	停电检修的安全措施	154
4.4	导线、地线的检修	158
4.5	杆塔的检修	165
4.6	绝缘子、金具的检修	171
4.7	其他检修	175
	习题	179
5	架空输电线路的带电作业	181
5.1	概述	181
5.2	带电作业的安全原理	183
5.3	带电作业方法	187
5.4	带电作业的安全技术	195
5.5	带电作业工器具	208
5.6	输电线路带电作业实例	223
	习题	229
6	架空输电线路的状态检修	230
6.1	概述	230
6.2	状态检修的状态评价	233
6.3	状态检修的工作标准	238
6.4	状态检修的管理体系	244
6.5	总结	246
	习题	247
7	架空输电线路的管理	248
7.1	概述	248
7.2	线路运行的技术管理	249
7.3	生产计划管理	252
7.4	缺陷管理和事故备品管理	253
7.5	线路设备的管理	258
7.6	线路运行分析与总结	263
	习题	264
8	特高压输电线路的运行维护	265
8.1	概述	265
8.2	交流特高压输电线路	268
8.3	直流特高压输电线路	278
8.4	特高压输电线路的运行维护	285
	习题	287
	附录 专业术语的定义	288
	参考文献	291

1 架空输电线路运行的基本要求

1.1 概 述

电力线路是电力系统的重要组成部分，其主要任务是输送和分配电能，是联系电源与用户的桥梁和纽带。其中由电源向电力负荷中心输送电能的线路为输电线路；担负分配电能任务的线路为配电线路。而随着电网规模不断扩大，高压、大容量、长距离的架空输电线路越来越多，线路结构也发生了较大的变化。这种高压、大容量的输电线路能够满足人们生产生活的电力需求，但与此同时，也对架空输电线路的运行与维护提出了更高的要求。

截至 2013 年，全国 220kV 以上交流输电线路总长达到 52.39 万 km。目前，皖电东送淮南至上海 1000kV 特高压交流输变电示范工程、浙北—福州 1000kV 特高压交流输变电工程已投入运行，目前还拟建多条特高压输电线路。

截至 2013 年，全国 ± 400 kV 及以上输电线总长达到 19 988km，糯扎渡—广东、哈密南—郑州、溪洛渡—浙西等 ± 800 kV 特高压直流输电线路已投入运行，目前还拟建包括 ± 800 kV 直至 ± 1100 kV 在内的多条特高压直流输电线路。

目前已建成了广东南澳（ ± 160 kV/200MW）三端柔性直流输电工程和浙江舟山（ ± 200 kV/400MW）五端柔性直流输电工程，其中南澳工程是世界上第一个多端柔性直流输电工程。目前在建厦门柔性直流输电工程（ ± 320 kV/1000MW）和云南柔直背靠背联网工程（ ± 350 kV/1000MW）。

截至 2013 年，我国超高压、特高压架空输电线路长度见表 1-1。

表 1-1 超高压、特高压输电线路发展情况

交流输电线路				直流输电线路				
电压等级 (kV)	500	750	1000	电压等级 (kV)	± 400	± 500	± 660	± 800
长度 (km)	146 166	12 666	1936	长度 (km)	1031	10 653	1400	6904

架空线路具有建设费用低、施工期短、技术要求低、维修方便、运行维护成本低等特点。目前除特殊情况外，优先采用架空输电线路。架空输电线路虽然具备上述优点，同时也存在一些不足和影响输电线路正常运行的问题。

(1) 运行状况要受到自然环境的影响。架空线路露置于野外（翻山越岭、跨江过河），受恶劣自然气象条件的侵蚀、环境污染和人为破坏等。

(2) 占用土地。架空输电线路需要设置线路走廊，线路建设必须征用土地，从而使线路建设的初期投资费用大大增加。

(3) 影响环境。高压线路对环境的影响主要体现在电磁场对生态、通信的影响；电晕有可能产生可听噪声；对自然环境造成一定破坏，城市区域的架空线路还影响市容，线路建设时开山放炮、侵占耕地、毁林毁苗等；同时随着电网的发展建设，线路密度不断增大，纵横交错线路影响自然环境。

处于自然环境的架空输电线路除了输送电能以外,还需承载各种外力、自然环境和恶劣气象条件的影响,因此架空输电线路的建设需考虑以下4点。

1. 能耐受沿线恶劣气象的考验

处于自然条件的输电线路能否经受线路沿线恶劣气象条件的考验,是保证线路安全运行的基本条件,主要从设计阶段开始,一是要合理选择线路:①综合考虑施工、运行、交通条件、线路长度以及存在大跨越情况等因素,进行方案比较,做到既安全可靠,又经济合理、技术先进;②应根据当地环境及运行经验,应尽量避免人口密集区、林区、不良地质地带、采矿(石)区、重冰区、重污秽区以及严重影响安全运行的其他地区;③应考虑与邻近公共设施,如通信设施、机场、弱电线路、铁路、公路、航道以及经济开发区等的相互影响;④对江河大跨越,应考虑洪水淹没区和河岸冲刷变迁的影响。同时尽量避免东西方向大跨越。二是线路设计所选择的线路经过地区的控制气象(组合气象条件)来加以保证,即气象条件三要素:风速、覆冰厚度、温度。气象条件直接影响架空线路的电气性能、绝缘强度、机械性能(元件的强度、刚度等)。设计时必须考虑:①线路在大风、覆冰、最低气温时,仍能正常运行;②线路在事故情况下(指断线事故),不使事故范围扩大,即杆塔不致倾斜;③线路在安装或检修过程中不致发生人身或设备损坏事故;④线路在正常运行情况下,在任何季节气象条件下保持足够的对地面或其他构筑物的安全距离;⑤线路在长期运行中应保证导线、地线有足够的耐振性能。

2. 合理地选择导线和地线的型式、截面积和应力

合理地选择导线和地线的型式、截面积和应力是保证线路安全运行及具有一定经济性的必要条件之一,直接关系到电能的输送能力、机械荷载的承受能力、使用寿命和经济性能。

3. 必须满足电气间隙和防护要求

线路的电气间隙主要指两方面,①导线与导线、地线之间的距离要求;②导线与杆塔接地部分、被交叉跨越物及地面之间的距离要求。输电线路对于来自大自然的危害和人为的外力破坏应具有防护要求,防雷、防振动是基本的保护措施。

4. 具有良好的综合性能

线路的综合性能是由线路元件性能来决定的,因此线路主要元件应能承受各种运行情况下的荷载作用。

电力架空线路由导线、地线(避雷线)、绝缘子、杆塔、基础、拉线、接地装置和各种金具等组成。输电线路的运行状态是指线路不间断地向用户输送电能的状态。其包括正常运行状态和异常运行状态。由于架空输电线路长期处于野外露天,线路设备除受到正常的机械载荷和电力负荷的作用外,还要经受风、雨、雪、冰、霜、雾、雷电、大气污染、气温变化等各种自然条件的长期影响,可能导致线路设备老化及线路事故。

当然,输电线路的正常运行取决于架空线路各元件的运行可靠性。在设计合理的前提下,其主要是由线路的施工和运行维护来保障的。输电线路的运行维护要求对各个设备经常进行监视、维护、定期试验和检修,使设备处于完好的运行状态,并应在系统中建立必要的备用容量以备急需,防止发生事故。

1.2 导线、地线的要求

架空导线不仅通过电流,同时还承受机械载荷,任何导线故障,均能引起或发展为导线

断线事故。

避雷线又称架空地线，架设于导线的上方，其作用是保护导线不受直接雷击，如果避雷线发生故障，造成断线，避雷线断线后可能碰撞导线，即能造成导线间的短路，影响正常供电。

总之，输电线路设计时选择具有良好电气性能、机械性能和经济性能的导线、地线；采用合理的施工工艺；保证安全可靠的运行参数（限距、弧垂、交叉跨越距离等）。

1.2.1 导线、地线材料

1. 导线材料的要求

导线的功能是传输电能，运行中需要承载电力负荷和承受机械荷载。因此导线材料应具有良好的导电性能及足够的机械强度，能经受自然界各种因素的影响，具有一定的耐腐蚀、耐高温和可加工性能，且质量轻、性能稳定、耐磨损、价格低廉等。一般采用铜、铝、钢及铝合金。

铜导线具有优良的导电系数 $\gamma = 53 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ 和足够的机械强度 ($\sigma = 38 \text{ kg}/\text{mm}^2$)，比重为 $8.9 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。铜导线耐腐蚀性强，能抵抗气候的影响和空气中大量化学杂质的侵蚀，但是铜导线造价高。

铝导线的导电系数，机械强度都不及铜导线。铝和铜相比较，铝的导电系数 $\gamma = 32 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ，是铜导线系数的 $1/1.6$ 倍；铝的机械强度 $\sigma = 16 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 也比较小；但铝的质量轻，比重为 $2.7 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。由于铝的机械强度较小，铝导线对气候影响的抵抗性弱，对化学作用方面的抵抗性也较弱，因此在沿海和化工厂附近不宜采用。

钢绞线的导电系数比较小 $\gamma = 7.52 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ，机械强度高，单股钢线 $\sigma = 37 \text{ kg}/\text{mm}^2$ ，多股钢线 $\sigma = 60 \sim 70 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 。

为了充分利用铝和钢两种材料的优点而补其缺点，就把它们结合起来制成了钢芯铝绞线。钢芯铝绞线有较好的机械强度，其所承受的机械应力是由钢导线和铝导线共同分担的。

由于交流电的集肤效应，钢芯铝绞线的钢芯中通过的电流可认为等于零，全部电流都通过铝导线，因此导电系数较高。由于钢芯铝绞线导线具有不少优点，因此广泛地应用于高压和超高压架空线路中。对大跨越的输电线路有时采用加强型钢芯铝绞线和铝包钢绞线等特种导线。

在架空线路中，还采用由铝、镁、硅制成的铝合金导线，其机械强度接近铜，导电系数及质量接近铝。

对于架空输电线路，导线本身的费用占总投资费用的 30% 左右，且其尺寸、质量及材料将直接影响铁塔、基础的费用和电能的损失。因此，对于导线的选择主要从导电性能、机械性能、防腐、防振、防覆冰及经济性等出发，根据所架设线路的环境条件、气象条件、档距、综合造价等因素，参照导线的物理机械性能进行选择，再用允许运行温度、电晕及无线电干扰等条件进行校验后确定。

2. 地线材料的要求

输电线路跨越广阔的地域，在雷雨季节容易遭受雷击而引起送电中断，成为电力系统中发生停电事故的主要原因之一。架空地线是高压输电线路结构的重要组成部分，架空地线的主要作用是引雷入地，减少雷击线路而跳闸的机会，提高线路的耐雷水平，保证线路安全送电。

架空地线由于不负担输送电流的功能,所以不要求具有与导线相同的导电率和导线截面积,通常多采用钢绞线组成。线路正常送电时,架空地线中会受到三相电流的电磁感应而出现电流,因而增加线路功率损耗并且影响输电性能。地线包括普通避雷线、绝缘架空避雷线、屏蔽架空避雷线和复合光纤架空避雷线。普通架空地线的架设不与杆塔绝缘,只起引雷入地的作用;一般地线均采用普通钢绞线,它只要求有较高的机械性能及良好的耐腐蚀性能。绝缘架空地线的架设与杆塔绝缘,起引雷入地的作用,还可作载波通信的通道、地线自身的融冰、检修时电动电源及小功率用户的供电等。绝缘架空地线可采用钢芯铝绞线或特殊架空电缆,如架空地线复合光缆(OPGW)——集光纤通信功能与输电线路避雷功能于一体的复合架空地线;架空地线缠绕式光缆(GWWOP)等。绝缘架空地线具有较高的机械性能、良好的耐疲劳性、耐腐蚀性能及良好的导电性。一般采用钢芯铝绞线、铝镁合金绞线和铝包铜绞线等,以降低通信衰减,提高通信质量。

1.2.2 导线线间距要求

导线的线间距离主要指导线间的水平距离、垂直距离和水平偏移距离。确定导线线间距的依据是保证足够的电气间隙,确保导线之间及导线与杆塔接地之间有足够的净空气间隙。

导线的线间距离主要取决于以下情况:

- (1) 导线风偏后对杆塔的最小空气间隙应满足规程要求;
- (2) 档距中央导线之间不得发生闪络和鞭击现象。

实践证明:对110kV以上的线路,因为其绝缘子串较长,风偏角大,其线间距离一般由第一种情况控制。对110kV以下的线路,绝缘子串较短,而档距中央弧垂最大,故以第二种情况来限制导线间的距离。

在具体确定导线间的水平距离和垂直距离时,应根据不同情况,采取不同的计算公式。

1. 导线水平线间距的计算

(1) GB 50545—2010《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》规定对1000m以下档距,其水平线间距离可由式(1-1)计算

$$D = 0.4L_k + \frac{U_N}{110} + 0.65\sqrt{f_e} \quad (1-1)$$

式中 D ——导线的水平线间距离, m;

L_k ——悬垂绝缘子串的长度, m;

U_N ——线路额定电压, kV;

f_e ——导线最大弧垂, m。

一般应结合运行经验确定其水平距离,在缺少运行资料时,可采用表1-2所列的数值。

(2) 档距大于1000m时,推荐采用式(1-2)计算导线间的水平距离。

$$D = 0.4L_k + \frac{U}{110} + K\sqrt{f_e} \quad (1-2)$$

式中 K ——系数,在0.8~1.0间选用,档距大时取大值。其他符号同前。

一般情况下,使用悬垂绝缘子串的杆塔可根据线路的电压等级及档距,直接查手册选用。

按照我国规程规定:输电线路导线水平相间距离10m时,允许档距为525m,相间距离

为 11m 时, 允许的档距为 650m。而按美国、法国的规定, 计算得出, 相间距离 6.7m 时, 允许的档距分别为 707m 和 808m。与国外 500kV 输电线路相间距离比较, 我国规定的相间距离相对较为保守。

2. 导线间垂直距离确定

导线垂直排列时, 其线间距离 (垂直距离) 除了应考虑过电压绝缘距离外, 还应考虑导线积雪和覆冰使导线下垂以及覆冰脱落时使导线跳跃的问题。主要取决于导线覆冰及覆冰脱落时跳跃的大小。其主要与导线的弧垂和覆冰厚度有关。考虑到导线覆冰, 尤其是覆冰厚度很大的情况是稀少的, 且导线风偏摇摆也不能使上下层导线发生闪络; 且导线的脱冰跳跃也是个别情况。因此一般认为, 在相同线间距离时, 导线垂直排列要比水平排列优越些, 即允许的弧垂或档距可以放大些。也即导线间的垂直距离可以小于其导线间的水平距离。

根据我国双回路线路的运行经验, 推荐导线间垂直距离宜采用式 (1-1)、式 (1-2) 计算值的 75%。即

$$D_h = 0.75D \quad (1-3)$$

一般情况下, 使用悬垂绝缘子串的杆塔, 其水平线间距离、垂直线间距离可根据线路的电压等级及档距, 直接查手册或按表 1-2、表 1-3 所给数值选用, 且不应小于表中所列数值。

表 1-2 使用悬垂绝缘子串杆塔的水平线间距离与档距的关系

水平线间距离 (m) 档距 (m) 标称电压 (kV)																
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	10	11
35	170	240	300													
110	300			300	375	450										
220	—				—	—	—	440	525	615	700					
330	—				—	—	—	—	—	—	—	525	600	700		
500	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	525	650

注 表中数值不适用于覆冰厚度 15mm 及以上的地区。

表 1-3 使用悬垂绝缘子串杆塔的最小垂直线间距离

标称电压 (kV)	35	60	110	220	330	500
最小垂直线间距离 (m)	2.0	2.25	3.5	5.5	7.5	10.0

需要注意的是:

(1) 表 1-3 中数值在覆冰地区尚嫌不够, 必须同时考虑导线间的水平偏移 (上、下层导线间或导线、地线间的水平距离);

(2) 重冰区导线建议采用水平排列, 导线与地线间的水平距离 (偏移) 较表 1-4 中设计冰厚 $b=15\text{mm}$ 栏内的数值至少增大 0.5m。对多回路杆塔不同回路的不同相导线的水平或垂直距离应比表 1-3 和表 1-4 中的线间距离大 0.5m。

表 1-4 导线间或导线与避雷线间的水平偏移

标称电压 (kV)					
水平偏移 (m)	35	110	220	330	500
设计冰厚 (mm)					
10	0.2	0.5	1.0	1.5	1.75
15	0.35	0.7	1.5	2.0	2.5

注 设计冰厚 5mm 及以下的覆冰地区，上、下层相邻导线间或导线与避雷线的水平偏移可根据运行经验适当减少。

3. 导线三角形排列等效线间距确定

导线呈三角形排列时，其工作状态介于垂直排列与水平排列之间。DL/T 5092—1999 规定：导线的斜向线间距离 D_x 可化为等效水平线间距离，并按式 (1-4) 计算

$$D_x = \sqrt{D_p^2 + \left(\frac{4}{3}D_z\right)^2}$$

(1-4)

式中 D_x ——导线三角形排列时的等效水平线间距离，m；
 D_p ——导线水平投影距离，m；
 D_z ——导线垂直投影距离，m。

此外，在多回路杆塔上，不同回路的不同相导线间的水平线间距离、垂直线间距离和等效水平线间距离的值应比相应的单回路的值增加 0.5m，并不得小于规程所规定的值，见表 1-5。

表 1-5 不同回路不同相导线间距离

标称电压 (kV)	35	110	220	330	500
距离 (m)	3	4	6	8	10.5

4. 导线与地线间距要求

在线路设计的绝缘配合内容中，在档距中央，导线与避雷线线间距离必须满足规程的要求，避雷线在塔头布置时也要满足这一要求。

在档距中央，导线与避雷线线间距离 D_{db} 在环境温度+15℃，无风情况下应满足式 (1-5)

$$D_{db} \geq 0.012L + 1$$

(1-5)

式中 L ——线路的档距，m；
 D_{db} ——满足防雷要求的导线与避雷线线间距离，m。

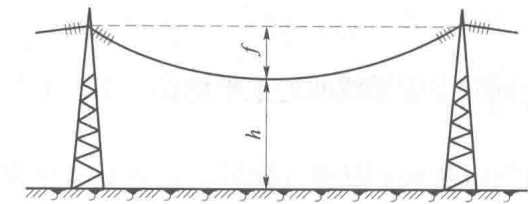


图 1-1 导线的弧垂和限距

1.2.3 导线、地线的弧垂要求

导线在杆塔上由于自重及紧线的拉力形成弧垂，如图 1-1 中当导线悬挂点等高时，连接两悬挂点之间的水平线与导线最低点之间的垂直距离 f 即为弧垂。

弧垂过小，导线受力增大，当张力超过导线许可应力时会造成断线；弧垂过大，导线对地距离不符要求，剧烈摆动时可能引起线路短路。弧垂大小和导线的质量、空气温度、导线

的张力及线路档距等因素有关。

$$f = \frac{l^2 g}{8\sigma_0} \quad (1-6)$$

$$\sigma_0 = \frac{T_0}{A}$$

式中 f ——导线弧垂, m;

l ——线路档距, m;

g ——导线的比重, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$;

σ_0 ——导线最低点的应力, kg/mm^2 ;

T_0 ——导线最低点的张力, kg;

A ——导线的截面积, mm^2 。

架空输电线路运行规程对导线、地线弧垂的要求主要有以下方面:

(1) 设计弧垂的计算允许偏差。一般情况下应在如下范围内: 110kV 及以下的线路为 +6%、-2.5%, 220kV 以上线路为 +3.0%、-2.5%。而运行中的导线、地线的最大弧垂不得超过规定值的 5%, 最小弧垂不得小于规定值的 2.5%。

(2) 三相导线的弧垂在一档内应力求一致。一般情况下, 各相间弧垂的允许偏差最大值为: 110kV 及以下的线路为 200mm; 220kV 及以上的线路为 300mm。

(3) 相分裂导线同相子导线的弧垂允许偏差值:

垂直排列双分裂导线允许偏差值范围: +100mm, -0。

其他排列形式分裂导线允许偏差值范围: 220kV 线路为 $\pm 80\text{mm}$; 330、500kV 线路为 $\pm 50\text{mm}$ 。

1.2.4 导线对地距离及交叉跨越距离的要求

导线对地或跨越物如果距离较小, 往往会造成导线放电事故。同时电磁波还会对通信线路产生干扰。这些情况往往会对人身和设备造成伤害, 因此导线对地和跨越物须设定安全距离, 方可保证供电安全和避免意外伤害。规定导线最低点对地面或建筑物之间的距离 h , 称为安全距离或限距, 如图 1-1 所示。

1. 导线对地及交叉跨越 (房屋、铁路、道路、河流、管道、索道、山坡、树木及各种架空线路等) 的最小允许距离的确定原则

(1) 应根据在最高气温情况或覆冰无风情况下求得的最大弧垂和在最大风速情况或覆冰情况下求得的最大风偏进行计算。

(2) 计算上述距离, 应考虑导线架线后塑性伸长的影响和设计、施工的误差, 但不应计入由于电流、太阳辐射、覆冰不均匀等引起的弧垂增大。

(3) 当架空线路与标准轨距铁路、高速公路和一级公路交叉, 且架空电力线路的档距超过 200m 时, 最大弧垂应按导线温度 +70℃ 计算。

2. 导线对地距离的确定

对于不同电压等级的线路, 导线的对地距离取决于不同的因素。通常 330kV 及以下线路, 其对地距离均由绝缘安全距离来确定; 而 500kV 及以上的线路, 则由产生静电效应的地面电场强度来决定。

(1) 按绝缘强度确定。导线对地距离按绝缘强度确定的原则是保证线路对人、畜、树

木、房屋及交叉跨越物不产生闪络放电现象。

一般可根据线路所通过地区的类型选用不同的安全裕度来确定。

线路经过地区的类型：

居民区：人口密集区。如市区、城区、城镇等。

非居民区：有人车来往或农业机械到达，但无房屋或房屋稀少的地区。

交通困难地区：车辆、农业机械不能到达的地区。

对非居民区，以导线在 $f_{\max}$ 时，对导线下的往来车辆不发生闪络放电为原则，满足公式（1-7）要求。

$$H = h + S + a$$

(1-7)

式中 H ——导线在 $f_{\max}$ 处的对地距离；

h ——车辆的装载高度，m；我国规定汽车的最大装载高度为 4.0m；

S ——内过电压下，导线对车辆不发生闪络放电的最小空气间隙，一般查表确定；

a ——裕度，一般取 1.0m。

对居民区，可较非居民区的导线在 $f_{\max}$ 处的对地距离 H 值再加 1.0m。

对交通困难地区，按人和牲畜驮运物品的最大高度考虑，一般式（1-7）中的 h 按人伸起手臂的最大高度 2.8m 取值。

（2）按静电感应影响确定。按静电感应影响确定导线的对地距离主要用于 500kV 以上电压等级的线路，以确保人畜等在导线下不产生静电感应为原则。

线路的静电感应现象是指在线路或附近的人畜或其他物体（车辆、金属屋顶、栏杆、铁丝网等）上感应有电荷、电流、电压的现象；感应电压越高，对人的影响就越严重。会使人产生麻电现象或导致人的精神恐慌，可能造成二次事故等。

我国规定：对 500kV 线路，以地面（跨越物）以上 1m 处的静电场强不大于 10kV/m 来考虑。

DL/T 5092—1999 提出：“500kV 送电线路邻近民房时，房屋所在位置离地 1m 处最大未畸变电场不得超过 4kV/m”。

导线与地面的距离要求在最大计算弧垂情况下不应小于表 1-6 所列数值。

表 1-6

导线对地面最小距离

(m)

线路经过地区	标称电压 (kV)				
	66~110	220	330	500	750
居民区	7.0	7.5	8.5	14	19.5
非居民区	6.0	6.5	7.5	11 (10.5)	15.5 (13.7)
交通困难地区	5.0	5.5	6.5	8.5	11

- 注 1. 500kV 线路对非居民区，11m 用于导线水平排列，10.5m 用于导线三角排列的单回路。
2. 750kV 线路对非居民区，15.5m 用于导线水平排列单回路的农业耕作区，13.7m 用于导线水平排列单回路的非农业耕作区。

3. 导线对房屋建筑物的距离要求

线路导线不应跨越屋顶为易燃材料做成的建筑物。对耐火屋顶的建筑物，应尽量不跨越，特殊情况需要跨越时，电力主管部门应采取一定的安全措施，并与有关部门达成协议或

取得当地政府同意。500kV 及以上输电线路不应跨越长期住人的建筑物。导线与建筑物之间的垂直距离，在最大计算弧垂情况下，不应小于表 1-7 所列数值。线路边导线与建筑物之间的水平距离，在最大计算风偏情况下，不应小于表 1-8 所列数值。

表 1-7 导线与建筑物之间的最小垂直距离

线路电压 (kV)	66~110	220	330	500	750
最小垂直距离 (m)	5.0	6.0	7.0	9.0	11.5

表 1-8 最大计算风偏情况下边导线与建筑物之间的最小水平距离

线路电压 (kV)	66~110	220	330	500	750
水平距离 (m)	3.5	4.0	5.0	6.0	8.5

在无风情况下，边导线与建筑物之间的水平距离，不应小于表 1-9 所列数值。

表 1-9 无风情况下边导线与建筑物之间的水平距离

线路电压 (kV)	66~110	220	330	500	750
水平距离 (m)	2.0	2.5	3.0	5.0	6.0

500kV 及以上输电线路跨越非长期住人的建筑物或邻近民房时，房屋所在地位置离地面 1.5m 处的未畸变电场不得超过 4kV/m。

4. 导线对岩石峭壁等突出物的距离要求

导线与山坡、峭壁、岩石之间的净空距离，在最大计算风偏的情况下，不应小于表 1-10所列数值。

表 1-10 导线与山坡、峭壁、岩石之间的净空距离 (m)

线路经过地区	线路电压 (kV)				
	66~110	220	330	500	750
步行可以到达的山坡	5.0	5.5	6.5	8.5	11.0
步行不能到达的山坡、峭壁和岩石	3.0	4.0	5.0	6.5	8.5

5. 导线与树木的距离

导线与树木的距离分三种情况确定。

(1) 线路通过林区及成片林时应采取高跨设计，未采取高跨设计时，应砍伐出通道，通道内不得再种植树木。通道宽度不应小于线路两边相导线间的距离和林区主要树种自然生长最终高度两倍之和。通道附近超过主要树种自然生长最终高度的个别树木，也应砍伐。通道宽度如图 1-2 所示，且通道的宽度要满足式 (1-8) 要求。

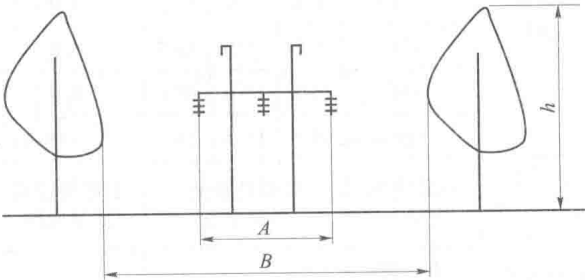


图 1-2 线路通道的宽度要求

$$B \geq A + 2h \tag{1-8}$$

式中 A——边导线的距离，m；

h ——树木的最大高度，m。

(2) 对不影响线路安全运行，不妨碍对线路进行巡视、维修的树木或果林、经济作物林或高跨设计的林区树木，可不砍伐，但树木所有者与电力主管部门应签订限高协议，确定双方责任，运行中应对这些特殊地段建立台账并定期测量维护，确保线路导线在最大弧垂或最大风偏后与树木之间的安全距离不小于表 1-11 和表 1-12 所列数值。

表 1-11 导线在最大弧垂、最大风偏时与树木之间的安全距离

线路电压 (kV)	66~110	220	330	500	750
最大弧垂时垂直距离 (m)	4.0	4.5	5.5	7.0	8.5
最大风偏时净空距离 (m)	3.5	4.0	5.0	7.0	8.5

表 1-12 导线与果树、经济作物、城市绿化灌木及街道树木之间的最小垂直距离

线路电压 (kV)	66~110	220	330	500	750
最小垂直距离 (m)	3.0	3.5	4.5	7.0	8.5

对于已运行线路先于架线栽种的防护区内树木，也可采取削顶处理。树木削顶要掌握好季节、时间，果树宜在果农剪枝时进行，在水源充足的潮湿地区或沟渠旁的杨树、柳树及杉树等 7、8 月份生长很快，宜在每年 6 月底前修剪。

6. 导线对各种工程设施的交叉跨越距离

架空输电线路的交叉跨越包括跨越桥梁、道路（公路和铁路）、管道、索道、河流、弱电线路及各种电力线路等。此时的交叉跨越距离必须严格满足规程的规定，应符合表 1-13 和表 1-14 的要求。

表 1-13 架空输电线路导线与铁路、公路、电车道交叉或接近的基本要求

项目		铁路				公路		电车道（有轨及无轨）	
导线或避雷线在跨越档		不得接头				高速公路、一级公路 不得接头		不得接头	
最小垂直距离 （m）	线路电压 （kV）	至轨顶			至承力索或 接触线	至路面	至路面	至承力索或 接触线	
		标准轨	窄轨	电气轨					
	66~110	7.5	7.5	11.5	3.0	7.0	10.0	3.0	
	154~220	8.5	7.5	12.5	4.0	8.0	11.0	4.0	
	330	9.5	8.5	13.5	5.0	9.0	12.0	5.0	
	500	14.0	13.0	16.0	6.0	14.0	16.0	6.5	
	750	19.5	18.5	21.5	7.0（10.0）	19.5	21.5	7.0（10.0）	
最小水平 距离（m）	线路电压 （kV）	杆塔外缘至 轨道中心		杆塔外缘到 路基边缘	杆塔外缘到路基边缘		杆塔外缘到路基边缘		
					开阔区	路径限制地区	开阔区	路径限制地区	
	66~220	交叉：30m； 平行：最高 杆塔加高 3m	交叉：8m 10m(750kV) 平行：最高杆 塔加高 3m	5.0		交叉：8m 10m(750kV) 平行：最高 杆塔加高 3m	5.0		
	330			6.0			6.0		
	500			8.0（15.0）			8.0		
	750			10.0（20.0）			10.0		

续表

项目		铁路		公路	电车道（有轨及无轨）	
邻档断线时的最小垂直距离(m)	线路电压(kV)	至轨顶	至承力索或接触线	至路面	至承力索或接触线	
	110	7.0	2.0	6.0	2.0	
备注		不宜在铁路出站信号机以内跨越		1. 三、四级公路可不检验邻档断线； 2. 括号内为高速公路数值，高速公路路基边缘是指公路下缘的排水沟		

表 1-14 架空输电线路导线与河流、弱电线路、电力线路、管道、索道交叉或接近的基本要求

项目		通航河流		不通航河流		弱电线路		电力线路		管道	索道
导线或避雷线在跨越档内接头		不得接头		不限制		不限制		110kV 以上线路不得接头		不得接头	不得接头
最小垂直距离 (m)	线路电压 (kV)	至5年一遇洪水位	至遇到航行水位最高船桅顶	至5年一遇洪水位	冬季至冰面	至被跨越线		至被跨越线		至管道任何部分	至索道任何部分
	66~110	6.0	2.0	3.0	6.0	3.0		3.0		4.0	3.0
	154~220	7.0	3.0	4.0	6.5	4.0		4.0		5.0	4.0
	330	8.0	4.0	5.0	7.5	5.0		5.0		6.0	5.0
	500	9.5	6.0	6.5	11.0 (水平) 10.5 (三角)			6.0 (8.5)		7.5	6.5
	750	11.5	8.0	8.0	15.5	12.0		7.0 (12.0)		9.5	11.0 (底部) 8.5 (顶部)
最小水平距离 (m)	线路电压 (kV)	边导线至斜坡上边缘				与边导线间		与边导线间		与导线至管道、索道任何部分	
						开阔区	路径受限制地区 (在最大风偏时)	开阔区	路径受限制地区 (在最大风偏时)	开阔区	路径受限制地区 (在最大风偏时)
	66~110	最高杆塔高度				最高杆塔高度	4.0	最高杆塔高度	5.0	最高杆塔高度	4.0
	154~220						5.0		7.0		5.0
	330						6.0		9.0		6.0
	500						8.0		13.0		7.5
	750						10.0		16.0		9.5 (管道) 8.5 (顶部) 11 (底部)
邻档断线时最小垂直距离 (m)	线路电压 (kV)	不检验				至被跨越物		不检验		至管道任何部分	不检验
66~110	1.0					1.0					
154	10.0					2.0					