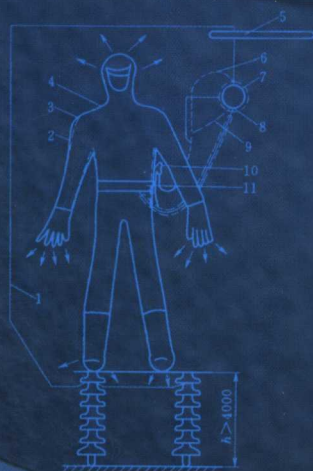


电力线路实
用技术丛书

电力架空线路 运行维护与带电作业

主 编 陈家斌
副主编 许长斌
卓 华



DIANLI JIAKONG XIANLU
YUNXING WEIHU YU DAIDIAN ZUOYE



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力线路实用技术丛书

电力架空线路 运行维护与带电作业

主 编 陈家斌

副主编 许长斌

卓 华



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍送电线路的运行管理与带电检修,全书共9章,分别介绍了架空电力线路的运行要求;电力线路过电压防护及绝缘配合;架空送电线路运行管理与维护;电力线路运行检测;电力线路的检修;带电作业方式及安全技术;带电作业工器具;配电线路带电检修实例;送电线路带电检修实例等内容。

本书内容丰富,系统全面,可供从事送电线路工作人员学习,也可作为电力院校电气专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力架空线路运行维护与带电作业/陈家斌主编.

北京:中国水利水电出版社,2006

(电力线路实用技术丛书)

ISBN 7-5084-3529-X

I. 电... II. 陈... III. 架空线路—基本知识

IV. TM726.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 001453 号

书 名	电力线路实用技术丛书 电力架空线路运行维护与带电作业
作 者	主编 陈家斌 副主编 许长斌 卓华
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 25.5 印张 637 千字
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	47.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

为确保电网安全、稳定、科学、经济地运行，就要有一支业务素质过硬的电力职工队伍，才能管好、用好电气设备，提高电气设备的安装、运行、检修质量。为满足广大电力线路专业人员的需要，我们特编写了这套《电力线路实用技术丛书》。

全套书共分五册，分别为：《电力架空线路设计与施工》、《电力架空线路运行维护与带电作业》、《电缆图表手册》、《配电网实用技术》、《电力线路故障分析与排除实例》。

本套书编者是多年从事电力生产的一线专家，有着极其丰富的实践经验，在编写过程中，强调突出岗位实用的特点，深入浅出地介绍了本专业岗位应知应会的技术知识，重点是实际操作技能，尤其是对初学者起到“一学就会，拿来就用，立竿见影”的效果。

本套书严格按照国家现行标准、规程、规范进行组稿，内容丰富，系统全面，简明扼要，通俗易懂，便于自学，既有专业理论知识，又有岗位应知应会的基本技能知识，读者拥有这套书就能很快胜任本职工作。

本册书为《电力架空线路运行维护与带电作业》，重点介绍了电力线路的运行管理质量标准，运行检修试验的方法，带电作业具体项目全过程作业程序等岗位技能知识。

本书第二、三、四章由卓华编写，第五、六、七章由许长斌编写，第一、八、九章由陈家斌编写，全书由陈家斌主编并统稿。

由于编者水平有限，书中可能存在不妥或错误之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年1月

目录

前言

第一章 电力架空线路的运行要求	(1)
第一节 电力架空线路的基本要求	(1)
第二节 电力线路导线和避雷线的要求	(4)
第三节 绝缘子和金具的要求	(11)
第四节 杆塔的要求	(15)
第五节 杆塔基础的要求	(17)
第六节 拉线的要求	(19)
第二章 电力线路过电压防护及绝缘配合	(21)
第一节 雷击线路的形式	(21)
第二节 电力线路的防雷保护	(24)
第三节 接地装置	(28)
第四节 切、合空载线路的过电压	(33)
第五节 弧光接地过电压	(36)
第六节 绝缘配合	(37)
第三章 架空送电线路运行管理与维护	(43)
第一节 架空送电线路的运行要求及标准	(43)
第二节 电力架空线路的运行维护	(47)
第三节 线路的技术管理	(56)
第四节 线路设备的评级	(58)
第五节 电力线路的防污措施	(61)
第六节 电力线路的覆冰消除方法	(67)
第七节 电力线路的防风措施	(70)
第八节 电力线路导线的防振	(71)
第九节 电力线路防暑过夏工作	(75)
第十节 电力线路防止鸟害和外力破坏	(79)
第十一节 电力线路的防腐蚀	(80)
第十二节 电力架空线路的故障处理	(83)
第四章 电力线路的运行检测	(89)
第一节 电力线路的检测要求及方法	(89)

第二节	绝缘子的绝缘电阻及耐压试验	(91)
第三节	绝缘子附盐密度测量	(96)
第四节	带电测量零值绝缘子	(99)
第五节	高压输电线路绝缘子的在线检测	(105)
第六节	导线连接器的检验	(110)
第七节	线路运行中的导线间距及弧垂测量	(114)
第八节	接地电阻的测量	(116)
第九节	线路杆塔的测量	(121)
第十节	线路元件的机械拉力试验	(126)
第十一节	沿线路空间环境的测量	(128)
第五章	电力线路的检修	(144)
第一节	电力线路检修项目及周期	(144)
第二节	电力线路检修的准备工作	(146)
第三节	电力线路检修安全工作	(148)
第四节	电力架空线路检修工艺及质量标准	(152)
第五节	导线与避雷线的检修	(181)
第六节	杆塔的检修	(188)
第七节	杆塔的更换	(191)
第八节	拉线、叉梁和横担的更换	(197)
第九节	绝缘子、金具的更换	(198)
第十节	杆塔接地装置及基础检修	(203)
第六章	带电作业方式及安全技术	(206)
第一节	带电作业方式及原理	(206)
第二节	静电感应及人体安全防护	(212)
第三节	带电作业安全技术	(214)
第七章	带电作业工器具	(219)
第一节	带电作业工具分类及库房标准	(219)
第二节	带电作业常用绝缘材料	(225)
第三节	操作杆及其工作部件	(226)
第四节	带电作业用绝缘绳	(234)
第五节	绝缘遮蔽罩	(238)
第六节	绝缘袖套	(244)
第七节	绝缘手套	(250)
第八节	绝缘服	(254)
第九节	绝缘鞋(靴)	(256)
第十节	屏蔽服	(257)
第十一节	带电作业用绝缘滑车	(264)
第十二节	带电作业用铝合金紧线夹具	(269)

第十三节 带电作业用盘形悬式绝缘子卡具	(272)
第十四节 带电作业其他工具	(279)
第十五节 带电作业用绝缘斗臂车	(281)
第八章 配电线路带电检修实例	(295)
第一节 带电检修方式及安全要求	(295)
第二节 采用绝缘工具作业 (间接作业) 实例	(299)
第三节 采用绝缘手套作业 (直接作业) 实例	(308)
第九章 送电线路带电检修实例	(327)
第一节 送电线路等电位带电检修进出电场的方法及安全要求	(327)
第二节 送电线路常规项目带电检修实例	(329)
第三节 500kV 线路部分项目带电检修实例	(353)
第四节 送电线路特殊项目带电检修实例	(365)
附录一 电力设施保护条例	(384)
附录二 架空送电线路运行规程 (DL/T 741—2001)	(388)

第一章 电力架空线路的运行要求

第一节 电力架空线路的基本要求

电力架空线路主要由导线、避雷线、绝缘子、杆塔基础、拉线、接地装置和各种金具等组成。由于高压架空线路长期处于露天之下，使得线路的杆塔、绝缘子和导线等不仅经受正常机械载荷和电力负荷的作用；还得经受风、雨、冰、雪、雷电、大气污染等各种自然条件的影响。这些影响将会促使线路各元件趋于老化损坏甚至造成事故。为此对线路提出如下具体要求。

一、线路的基本要求

（一）线路路径

- （1）架设线路的路径尽量选择捷径，地形不复杂，投资较少。
- （2）应尽量少占农田，避开洼地，冲刷地带及易被车辆碰撞的地方。
- （3）避开爆炸物、易燃物和可燃液（气）体的生产厂房、仓库、储罐等。
- （4）应尽量把线路架设在公路、道路的两侧，便于运输、施工和今后的运行维护。

（5）线路路径的选择既要照顾到当前的需要，又要考虑到今后的发展，并要满足城市规划和电网规划，要留有一定的裕度。

（二）架空线路应避开下列处所架设

- （1）国家的纪念塔、碑及其类似处所或规划之内。
- （2）屋顶、庭院、林木丛生之地。
- （3）山洪、水灾较多之处。
- （4）生产、储存易燃、易爆物的厂房、库房等处所。
- （5）生产腐蚀性气体、液体及污染严重之地。
- （6）不易通过的山河、湖泊及基础不易稳固的地方。

（三）架空线路的电杆应避开在下列处所埋设

- （1）妨碍交通的场所或妨碍交通信号视线的场所。
- （2）铁路路基取土处及路基斜坡面。
- （3）地下管道、暗渠、电力电缆、通信电缆及其他地下设施埋设之处。
- （4）建筑物及地道出入口。
- （5）车马通行频繁易受碰撞之处。
- （6）临河岸及接近水渠之处。
- （7）沙地、沼泽地及泉水池。

（四）对线路的基本要求

（1）供电安全。要保证对用户可靠地、不间断地供电，就要保证线路架设的质量并加强运行维修工作，防止发生事故。

(2) 电压质量。电压质量的好坏，直接影响着用电设备的安全和经济运行，供电电压 10kV 及以下高压供电和低压电力用户的电压变动范围为 $\pm 7\%$ ，低压照明用户为 $-10\% \sim +5\%$ 。

(3) 经济供电。送电过程中要尽量降低线路损耗。

二、电杆高度和埋深

(1) 电杆高度应根据横担安装位置、电杆埋深、导线弧垂和导线对地面的垂直距离来确定，可用下列公式近似计算：

$$\text{电杆总长(高度)} = \text{横担至杆顶距离} + \text{导线弧垂} + \text{导线对地面垂直距离} + \text{电杆埋入深度}$$

(2) 电杆的埋深应根据电杆的材料、高度、承力和当地的土质情况来确定。一般 15m 以下电杆，埋深可按杆长的 $1/6$ 计算，但最少不得小于 1.5m，一般电杆埋深参考表 1-1。

表 1-1 电杆埋设深度

杆高 (m)	8	9	10	11	12	13	15	18
埋深 (m)	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.8

三、高压架空线路杆塔的要求

(一) 木杆

- (1) 杆身不应有腐朽，有腐朽的电杆在设计范围内应去掉腐朽部分，涂刷防腐油。
- (2) 不能使用通身木纹呈螺旋状扭曲的木杆。
- (3) 杆身弯曲，凡两端中心连接已超出杆外者不得使用，在受力大的地方，弯曲严重的木杆也不得使用。
- (4) 未裂穿的干缩缝允许深度，不得超过梢径的 $1/3$ ，长度不得超过杆长的 $1/2$ 。
- (5) 木杆的外皮应全部剥干净。
- (6) 主杆梢径不得小于：10kV 及以下的线路为 160mm；农村架空线路为 140mm。
- (7) 木杆接腿梢径不应小于主杆根径的 85%，其最大弯曲不应超出接腿长度的 1%。

(二) 混凝土杆

- (1) 杆身的弯曲不得超过杆长的 $2/1000$ 。
- (2) 电杆横向裂纹宽度应不超过 0.2mm。
- (3) 电杆表面应平整光滑，内外壁均不得有流浆露筋等缺陷，杆顶必须封堵。
- (4) 混凝土杆用的底盘、卡盘表面应无裂缝、剥落等缺陷，如因运输碰撞，其碰撞面积不得超过总面积的 2%（深度不大于 20mm）。

(三) 铁塔

- (1) 铁塔主材弯曲度不大于 0.2%。
- (2) 塔倾斜（包括挠度）50m 及以上高度小于 0.5%，50m 以下小于 1%。
- (3) 塔材镀锌无锈蚀。

四、装设拉线的要求

- (1) 拉线在木杆上固定时，应在木杆上加护杆铁板，以防止木杆受到损伤。但拉线为

25mm² 钢绞线或 5 股以下镀锌铁线时，可不加护杆铁板。

(2) 用钢绞线作拉线应在电杆上先绕一圈，用卡钉钉牢。拉线截面为 50mm² 以下，可用镀锌铁线缠绕；50mm² 以上应用钢线卡子固定。若用 #8 铁线制作拉线，应把各股平铺在电杆上用卡钉钉牢，再用 #10 铁线或自身缠绕固定。

(3) 拉线在混凝土杆上固定时，应使用拉线抱箍，抱箍的机械强度要满足拉线的拉力要求，而螺栓直径不小于 16mm。

(4) 拉线在电杆上固定应尽量靠近横担，但木质直线杆的两侧人字拉线（防风拉线）应固定在横担以下的 1m 处，以防雷击闪络。

(5) 拉线底把应做在不易被车辆碰撞的地方，若受地形限制，应埋设护桩。拉线在易受洪水冲刷的地区，应增设必要的防护设施。

(6) 配电线路木杆上拉线应装设拉紧绝缘子，要求绝缘子距地面不小于 2.5m，混凝土电杆的拉线一般不装拉紧绝缘子，但拉线从导线之间穿过时应装设拉紧绝缘子。

(7) 拉线与带电体的最小净空距离：3~10kV 为 0.2m；低压线路为 0.05m。

(8) 线路沿道路架设分支或转角杆，在线路转向的反方向，因受道路或其他障碍物的限制不能做一般拉线时，可架设水平拉线。拉线对地面的垂直距离应不小于 6m，在人行道及不通汽车的小巷应保持 4m 以上。水平拉线的埋深不应小于 1m，并向外倾斜 10°~20°，拉线截面积为 11 股或用 GJ—50 及以上的钢绞线时，拉线应装设底盘。

(9) 拉线长度计算为：

$$L = KB$$

式中 L ——拉线装设长度，m；

B ——拉距，m；

K ——系数，见表 1-2。

表 1-2 对不同距高比的系数

距高比	2	1.5	1.25	1	0.72	0.66	0.5	0.33	0.25
系数 K	1	1.2	1.3	1.4	1.7	1.8	2.2	3.2	4.1

五、在挡距内的导线连接要求

(1) 在一个挡距内每根导线允许有一个接头或三个补修管，其间距离不应小于 15m，导线接头或补修管距导线固定点，直线杆应不小于 0.5m，输电线耐张杆应不小于 15m，配电线不小于 1m。

(2) 在下列交叉跨越内不能有接头：

- 1) 跨越铁路。
- 2) 跨越公路和城市主要道路。
- 3) 跨越通信线路。
- 4) 特殊大挡距和跨越主要通航河流。

(3) 不同金属、不同规格、不同绞向的导线，不得在一个耐张段内连接，只允许用专用连接器在杆塔跳线上连接。

六、导线在绝缘子上固定的要求

(一) 导线在针式绝缘子上固定

(1) 直线杆上的导线应固定在针式绝缘子顶部的槽内, 1kV 及以下线路可固定在绝缘子侧面绑线的槽内。

(2) 30°以下转角杆上的导线, 应固定在绝缘子转角外侧绑线的槽内。

(3) 轻型承力杆上, 导线在绝缘子上固定处不应出角度, 两侧导线应按绝缘子外侧取直, 中间导线应按面向电源侧时右侧绝缘子取直。

(4) 1kV 及以下线路的导线, 在绝缘子固定应绑扎成单十字, 1kV 以上的绑成双十字。

(二) 导线在蝶式绝缘子上固定

(1) 铜线在绝缘子上固定时, 其绑扎长度: 导线截面为 35mm^2 及以下的绑扎 150mm; 截面为 $50\sim 95\text{mm}^2$ 的绑扎 200mm。

(2) 固定铝线的绑扎长度: 导线截面为 50mm^2 及以下的绑扎 150mm; 截面为 70mm^2 的绑扎 200mm。

(三) 导线在悬式绝缘子上的固定

(1) 直线杆上用悬式线夹固定。

(2) 耐张、转角、终端、换位等杆上, 使用耐张线夹固定。

(3) 交叉跨越的两端直线杆上, 不应采用释放线夹固定。

(4) 导线在绝缘子上(耐张杆)的固定: 铜线截面为 50mm^2 、铝线截面为 35mm^2 以上, 使用螺栓型耐张线夹, 铜线截面为 50mm^2 以下允许绑扎在心形环上。绑线截面为 $16\sim 25\text{mm}^2$ 的铜线长为 120mm, 铝线为 180mm; 截面为 $35\sim 50\text{mm}^2$ 的铜线长为 15mm, 铝线长为 25mm。

(四) 铝线在绝缘子上的固定

除满足以上要求外, 还应符合下列要求:

(1) 铝导线与绝缘子和金具接触处容易磨损, 应在接触部位缠绕铝带。

(2) 铝带缠绕方向应与外股导线方向一致。

(3) 铝带缠绕长度, 在针式绝缘子上固定时, 应超出绑所部分 30mm; 在蝶式绝缘子上固定时, 应超出接触部分; 在悬式绝缘子上固定时, 两端露出线夹 $20\sim 30\text{mm}$; 当采用护线条时可不缠绕铝带。

(4) 截面为 95mm^2 及以上的铝线, 应采用悬式绝缘子固定。

第二节 电力线路导线和避雷线的要求

电力线路上的导线不仅通过电流, 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, 它架设在导线的上空, 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在导线上, 即能造成导线间的短路, 影响正常供电。

一、导线和避雷线的材料

导线的材料除了具有良好的导电系数以外, 还要求重量轻, 有足够的机械强度, 能经

受住自然界各种因素的影响和化学物的腐蚀。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。这是因为铜导线架设后经过一个时期, 在导线的表面上被盖着一层氧化物, 可防止导线进一步腐蚀, 但因为铜导线造价高。

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 $\gamma=32\text{m}/(\Omega\cdot\text{mm}^2)$, 比铜导电系数小 1.6 倍; 铝的机械强度 $\sigma=16\text{kg}/\text{mm}^2$ 也比较小; 但铝的重量轻, 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也很强, 但对化学作用方面的抵抗性则较弱, 因此在沿海地区和化工厂附近不宜采用。

钢绞线的导电系数比较小 [$\gamma=7.52\text{m}/(\Omega\cdot\text{mm}^2)$], 而机械强度较大, 单股钢线 $\sigma=37\text{kg}/\text{cm}^2$, 多股钢线 $\sigma=60\sim70\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

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。

由于交流电的集肤效应, 钢芯铝导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。对大跨越的送电线路有时采用加强型钢芯铝线和铝包钢线等特种导线。

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, 导电系数及重量接近铝。

导线的型号, 是用导线材料、结构和截面积三部分表示。例如: 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; JGJ-120——截面积为 120mm^2 的钢芯铝绞线。避雷线通常采用 GJ 型镀锌钢绞线。

二、导线间的水平距离

正常状态, 电力线路在风速和风向都一定的情况下, 每根导线都同样地摆动着。但在风向, 特别是风速随时都在变化的情况下, 如果线路的线间距离过小, 则在档距中央导线间会过于接近, 因而发生放电甚至短路。

对 1000m 以内的档距, 其水平线间距离可由下式决定:

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

式中 D ——水平线间距离, m;

L_k ——悬垂绝缘子串长, m;

U_N ——线路额定电压, kV;

f ——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 1-3 和表 1-4 所列的数值。表 1-3 中的数据是档距为 450m 以内的水平距离, 表 1-4 中的数值为档距大于 450m 以及大跨越的水平距离。

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。

表 1-3 220kV 及以下电力线路的线间距离 (cm)

电 压 (kV)	挡 距 (m)												绝缘类别
	50 及以下	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	
10 及以下	60	70	80	90	110	130	150	—	—	—	—	—	针式绝缘子 针式绝缘子
35	100	125	150	150	175	200	225	255	275	300	—	—	
35	—	150	175	200	200	225	250	275	300	325	—	—	悬式绝缘子
60	—	—	—	250	275	275	300	325	—	375	400	—	
110	—	—	—	300	325	325	350	350	400	400	450	—	
154	—	—	—	—	—	—	400	400	450	450	500	500	
220	—	—	—	—	—	—	—	—	500	500	550	550	

表 1-4 电力线路的水平线间距离 (cm)

电压 (kV) \ 挡距 (m)	400	450	500	600	700	800	900	1000
35	400	450	500	550	600	700	800	900
60~110	—	500	550	600	650	750	850	950
154	—	—	600	650	700	800	900	1000
220	—	—	650	700	750	850	950	1050

导线垂直排列的垂直距离可采用 $\frac{3}{4} D$ 。使用悬垂绝缘子串的杆塔,其垂直线间距离不得小于表 1-5 的规定数值。

表 1-5 导 线 垂 直 距 离

电压 (kV)	35	60	110	154	220	330
距离 (cm)	200	225	350	450	550	750

在覆冰地区导线垂直排列时,上、下层导线间或导线与避雷线间的水平偏移,按不同覆冰条件应保持表 1-6 中所列的数值。

表 1-6 导线间或导线与避雷线间的水平偏移 (cm)

电 压 (kV)	35	60	110	154	220	330
设计覆冰厚度 10mm	20	35	50	70	100	150
设计覆冰厚度 15mm	35	50	70	100	150	200

注 5mm 及以下的覆冰地区,可按 10mm 覆冰地区要求数值适当减少。

导线三角排列时,斜向线间距离按下式化为等值水平线间距离考虑:

$$D_x = \sqrt{D_p^2 + \left(\frac{4}{3} D_z\right)^2} \quad (1-2)$$

式中 D_x ——导线三角排列时的等值水平线间距离, m;

D_p ——导线水平投影距离, m;

D_z ——导线垂直投影距离, m。

多回路杆塔上，不同回路的不同相导线间的水平或垂直距离应比式（1-1）和式（1-2）及表 1-4 的要求增加 0.5m，并不应小于表 1-7 所规定的数值。

表 1-7 多回路线间距离

电压 (kV)	35	60	110	154	220	330
距离 (cm)	300	350	400	500	600	800

三、导线的弧垂

导线在杆塔上由于自重及紧线的拉力，紧起后形成弧垂，如图 1-1 所示。图中的 f 称为导线的弧垂（或弛度），表示为：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。

线路的弧垂大小直接关系到安全运行。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，导线对地距离过小而不符合要求，在有剧烈摆动时，可能引起线路短路。

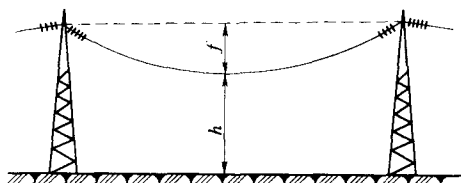


图 1-1 导线的弧垂和限距

弧垂大小和导线的重量、空气温度、导线的张力及线路档距等因素有关。导线自重愈大，导线弧垂愈大；温度高时弧垂增大；温度低时，弧垂缩小；导线张力愈大，弧垂愈小；线路档距愈大，弧垂愈大。

弧垂的大小和各因素的关系可用下式表示：

$$f = \frac{l^2 g}{8 \sigma_0} \quad (1-3)$$

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

式中 f ——导线弧垂，m；

l ——线路档距，m；

g ——导线的比重，kg/(m·mm²)；

σ_0 ——导线最低点的应力，kg/mm²；

T_0 ——导线最低点的张力，kg；

A ——导线的截面，mm²。

工程上根据上述公式计算，制作了弧垂表。导线的弧垂应符合设计规定，如果大于规定值，最大不得超过规定值的 5%，若小于规定值，最小不得小于规定值的 2.5%。最大容许误差应不超过 0.5m。

三相导线的弧垂在一档内应力要求一致，其允许误差：水平排列不大于 0.2m；垂直排列不大于 0.3m。

四、导线对地距离及交叉跨越

为了保证电力线路运行可靠，防止发生危险，因此规定了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) 导线与地面、建筑物、树木、道路、河流、管道、索道及各种架空线路的距离，应根据最高气温情况或覆冰无风情况求得的最大弧垂和最大风速情况或覆冰情况求得的最大风偏进行计算。计算上述距离，应考虑导线初伸长的影响和设计施工的误差，以及运行

中某些因素引起的弧垂增大。大跨越的导线弧垂应按实际能够达到的最高温度计算。线路与铁路、高速公路、一级公路交叉时，最大弧垂应按导线温度为 $+70^{\circ}\text{C}$ 计算。

(2) 导线与地面的距离，在最大计算弧垂情况下，不应小于表 1-8 所列数值。

表 1-8 导线与地面的最小距离

地区类别 \ 线路电压 (kV)	35~110	220	330	500
居民区 (m)	7.0	7.5	8.5	14.0
非居民区 (m)	6.0	6.5	7.5	11.0 (10.5)
交通困难地区 (m)	5.0	5.5	6.5	8.5

(3) 导线与山坡、峭壁、岩石之间的净空距离，在最大计算风偏情况下，不应小于表 1-9 所列数值。

表 1-9 导线与山坡、峭壁、岩石最小净空距离

线路经过地区 \ 线路电压 (kV)	35~110	220	330	500
步行可以到达的山坡 (m)	5.0	5.5	6.5	8.5
步行不能到达的山坡、峭壁和岩石 (m)	3.0	4.0	5.0	6.5

(4) 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，亦应尽量不跨越，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 线路导线对有人居住或经常有人出入的耐火屋顶的建筑物不应跨越。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 1-10 所列数值。

表 1-10 导线与建筑物之间的最小垂直距离

线路电压 (kV)	35	66~110	154~220	330	500
垂直距离 (m)	4.0	5.0	6.0	7.0	9.0

(5) 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 1-11 所列数值。

表 1-11 边导线与建筑物之间的最小距离

线路电压 (kV)	35	110	220	330	500
垂直距离 (m)	3.5	4.0	5.0	6.0	8.5

(6) 线路通过林区时，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。

(7) 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，可不砍伐，但树木所有者与电力主管部门应签订协议，确定双方责任，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 1-12 所列数值。

表 1-12

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)	35~110	220	330	500
最大弧垂时垂直距离 (m)	4.0	4.5	5.5	7.0
最大风偏时净空距离 (m)	3.5	4.0	5.0	7.0

(8) 线路与弱电线路交叉时, 对一、二级弱电线路的交叉角应分别大于 45° 、 30° , 对三级弱电线路不限制。

(9) 线路与铁路、公路、电车道以及道路、河流、弱电线路、管道、索道及各种电力线路交叉或接近的基本要求, 应符合表 1-13 和表 1-14 的要求。

表 1-13

送电线路与铁路、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挡内接头		不得接头		高速公路、一、二级公路不得接头		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
	35~110	7.5	3.0	7.0		10.0	3.0
	220	8.5	4.0	8.0		11.0	4.0
	330	9.5	5.0	9.0		12.0	5.0
	500	14.0 16.0 （电气铁路）	6.0	14.0		16.0	6.5
最小水平距离（m）	线路电压（kV）	杆塔外缘至轨道中心		杆塔外缘至路基边缘		杆塔外缘至路基边缘	
	开阔地区			路径受限地区	开阔地区	路径受限地区	
	35~220	交叉：30m 平行：最高杆塔高加 3m		交叉：8m	5.0	交叉：8m	5.0
	330			平行：最高杆塔高	6.0	平行：最高杆塔高	6.0
	500				8.0（15）		8.0
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	
	35~110	7.0	2.0	5.0		2.0	
	154			6.0			
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			

跨越弱电线路或电力线路, 如导线截面按允许载流量选择, 还应校验最高允许温度时的交叉距离, 其数值不得小于操作过电压间隙, 且不得小于 0.8m。

表 1-14 送电线路与河流、弱电线路、电力线路、管道、索道交叉接近的基本要求

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 在跨越挡内接头		不得接头		不限制		一、二级 不得接头		35kV 及以上 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 1 遇洪 水位	至遇高航 行水位最 高船桅顶	至 5 年 1 遇洪 水位	冬季至 冰面	到被跨越线		至被跨越线		至管道 任何部分		至管道 任何部分	
	35~110	6.0	2.0	3.0	6.0	3.0		3.0		4.0		3.0	
	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	10.0	6.0	6.5	11 (水平) 10.5 (三角)	8.5		8.5		7.5		6.5	
最小 水平 距离 (m)	线路 电压 (kV)	边导线至斜坡上缘				与边导线间		与边导线间		导线至管道、索道任何 部分			
						开阔 地区	路径受限 制地区 (在最大 风偏时)	开阔 地区	路径受限 制地区 (在最大 风偏时)	开阔地区		路径受限 地区 (在最大 风偏时)	
	35~110	最高杆塔高度				最高 杆塔 高度	4.0	5.0	最高杆 塔高度		4.0		
	220						5.0	7.0			5.0		
	330						6.0	9.0			7.0		
500	8.0						13.0	7.5					
邻挡断 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	
	35~110					1.0				1.0			
	154					2.0				2.0			
		(1) 最高洪水时, 有抗洪抢险 船只航行的河流垂直距离应协商 确定 (2) 不通航河流指不能通航也 不能浮运的河流				送电线路 应在上方, 三级线可不 检 验 邻 挡 断线		(1) 电 压较高的线 路架在电压 较低线路的 上方 (2) 公 用线路架在 专用线路的 上方 (3) 不 宜在杆塔顶 部跨越		(1) 与索道交叉, 如索 道在上方, 索道的下方应装 保护设施 (2) 交叉点不应选在管 道的检查井(孔)处 (3) 与管、索道平行、 交叉时索道应接地 (4) 管、索道上的附属 设施, 均应视为管、索道的一 部分			

五、导线、避雷线的连接

送电线路的每个耐张段长度均不相同, 导线架设过程中, 除少量作连引外, 大部分在