

GONGPEIDIAN
XIANLU JISHU SHOUGE

供配电 线路技术 手册



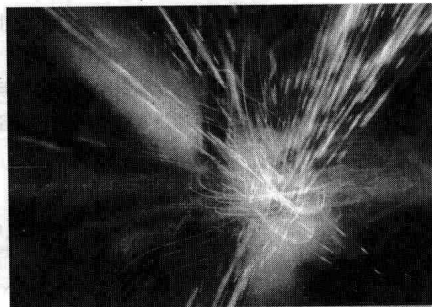
李兆华 李斌 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

GONGPEIDIAN
XIANLU JISHU SHOUCHE

供配电 线路 技术手册



李兆华 李斌 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为满足供电和农电人员职业技能鉴定、安全运行、操作工艺、现场作业及日常工作的需要,依据《国家职业技能鉴定规范·电力行业》(配电线路工和农网配电营业工)和相关规程标准的规定,并结合供电和农电生产实际情况,组织编写了《供配电线路技术手册》一书,并与《供配电线路作业培训教材》、《供配电线路作业工艺》相配套,以便供电人员和农电人员培训和鉴定使用,增强安全操作和工艺水平,提高供电人员整体素质。

本手册共九章,主要内容有:高低压架空线路知识、高压架空线路部件构造、导线选择、辐射形电网电气计算、环形电网电气计算、高压架空线路杆塔地基、杆塔地基土力学性质、杆塔地基应力分析、铁塔结构设计技术等。

本书可作为全国供电企业、农电企业、工业企业等中低压供配电线路工人,农网配电营业工人以及供配电线路专业技术人员和管理人员等人员的必备工具书。

图书在版编目(CIP)数据

供配电线路技术手册/李兆华,李斌编. —北京:中国
电力出版社,2008
ISBN 978-7-5083-7674-5

I. 供… II. ①李…②李… III. ①供电-技术手册
②配电系统-技术手册 IV. TM72-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 100220 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 5.25 印张 136 千字
印数 0001—3000 册 定价 12.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

我国电力工业随着工业、农业、商业的发展需要不断地增长，供电量不断地增加，因此供配电线路也要配合发展，以满足社会供配电的需求。

供配电线路有高压线路和低压线路，主要是采用架空线路供电，因为架空线路供电制作方便、维护简单、成本经济且安全可靠。

与《供配电线路作业培训教材》、《供配电线路作业工艺》相配套的《供配电线路技术手册》一书，是为了使供电企业和工业企业等供配电线路人员容易了解和掌握高低压架空线路的技术，使供配电线路人员在运行、维护、检修和安装时工作方便和操作顺利。

本手册在编写过程中对高低压架空线路的技术资料进行了收集，如导线的种类、构造，绝缘结构、种类型式，金具，杆塔构造，铁塔型式，地基结构和荷重应力分析，导线排列等。

由于我们编写时间仓促，水平有限，搜集资料难免遗漏、错误，敬请广大读者朋友提出批评指导意见。

编 者

2008年9月

目 录

前言

第一章 高低压架空线路的知识	1
第一节 架空线路的杆塔分类.....	1
第二节 架空线路的导线种类和截面选择.....	4
第三节 架空线路的各种档距.....	8
第四节 架空线路的弧垂和限距	10
第五节 架空线路与铁路、道路、河流等交叉接近的要求	13
第六节 架空线路的线间距离	13
第七节 架空线路的危害情况	17
第二章 架空线路的导线和绝缘子	19
第一节 导线	19
第二节 绝缘子和支架	25
第三节 附件和金具	30
第三章 架空线路的电杆和铁塔	35
第一节 架空线路的路线和杆塔选择	35
第二节 各种电压的架空线路结构	41
第三节 架空线路的电杆上导线布置	44
第四章 辐射形电网的电气计算	46
第一节 铜线、铝线的直流和交流电阻	46
第二节 电抗的计算	47
第三节 直流导线的计算	48
第四节 求负荷在终端的三相电路的电压降	50
第五节 求负荷在三相线路中的电压降损失	54

第六节	负荷均匀分布的线路的电压损失	58
第七节	求分支线路的电压损失	60
第八节	求有中性线线路的电压损失	61
第五章	环形电网的电气计算	67
第一节	概述	67
第二节	两侧供电的线路计算	69
第三节	复杂的环形电网线路计算	80
第四节	环形电网线路导线截面计算	91
第五节	电能输送	94
第六节	高压架空线路的有效电导计算	95
第七节	高压架空线路的无功电容计算	97
第六章	高压架空线路杆塔地基	99
第一节	架空线路杆塔地基的土形成条件和构造	99
第二节	架空线路杆塔地基的土分类	101
第三节	地基的典型土	103
第四节	地基土的某些重要性质	108
第七章	杆塔地基的土的力学性质	110
第一节	杆塔地基的土在荷重下的变动	110
第二节	地基的土在荷重下的变形	113
第三节	地基抗剪强度	119
第八章	杆塔地基的应力分布	121
第一节	地基的应力分布	122
第二节	地基的层状构造	126
第九章	铁塔结构设计技术	129
第一节	铁塔结构设计的要求	129
第二节	铁塔设计的项目和类型	130
第三节	各类型铁塔设计数据和图例	130



高低压架空线路的知识

高压架空线路是和发电厂、变电站紧密联系起来的重要电气装置，它是将发电厂的电能转送到变电站将电压升高，并根据输送线路的距离长短配合电压高低送到用电户的用电设备。

高压架空线路还可以将其他孤立地区的电力互相连接起来，成为一个庞大的区域电力网络，使供电容易增大可靠度，并且还可以用来调节负荷用电。

高压架空线路还可以将火力、水力、风力、原子能、太阳能等电力，通过变压器统一电压互相连接，集中送到用电户用电。

供电部门的供电电气装置，主要是靠架空线路送到政府部门、工厂企业、商业、居民以及农村等用电户。因此架空线路是一个重要的电气装置，供电部门必须加强管理维护，保证安全供用电。

第一节 架空线路的杆塔分类

架空线路依其电压和用途可分为以下三个等级：

第一级——额定电压为 35~220kV 的供电回路线路，其导线架设为芯式绝缘子。

第二级——额定电压为 1~20kV 的供电线路，不论其导线在电杆上的架设方式如何，或为供第Ⅲ类负荷的 35kV 线路，其导线架设方式为针式绝缘子或悬挂式绝缘子。

第三级——电压在 1kV 或 1kV 以下者，不论其导线在电杆



上的架设方式如何。

一、电力用户分级

(1) 一级。如停止供电时，会造成下列严重后果：危及生命，给国民经济带来重大损失，损坏设备，使大量产品报废，打乱复杂的生产过程，以及使市政生活中要害部门发生混乱。

(2) 二级。如停止供电时，将造成大量减产，工人及机械设备停止工作，工业企业内部运输停顿，以及城市中大量居民的正常活动受到影响。

(3) 三级。凡不属于第一级和第二级的其他用电设备，如非系列生产的车间及辅助车间。

二、按三相线路数目分类

(1) 单回路。杆塔上只有一个三相回路的输电线路，称单回路。

(2) 双回路。杆塔上有两个三相回路的输电线路，称双回路。

三、按杆塔的材料分类

(1) 木质杆塔。以一级杉木为主要材料。它的优点是轻便、投资少、绝缘水平较高，缺点是维护检修工作量大、使用年限短，同时木材在国民经济建设中用处广，而必须节约。因此目前大量使用水泥杆。

(2) 铁塔。以角铁为主要材料。优点是机械强度大，运输方便(对螺丝塔而言)，使用年限长，维护工作量较小。但钢材是国民经济建设的重要物资，亦需尽量节约，以支援国家四个现代化建设。铁塔又分螺丝铁塔和分段焊接铁塔，后者运输比较困难，镀锌也不易进行。

(3) 钢筋混凝土电杆。钢筋混凝土电杆目前应用最广的是空心水泥杆，它是用钢筋水泥在离心滚杆机内浇筑而成。这种电杆的特点是使用年限长，维护工作量少。钢筋混凝土电杆分普通型和预应力及等径杆和拔梢杆等，各段水泥杆的连接一般多使用焊接，但也有用法兰盘连接的。



四、按杆塔的作用分类

1. 承力杆塔(亦称锚杆塔)

(1) 耐张杆塔。它的作用是将线路分段及控制事故范围,在事故情况下承受断线拉力,而不致扩展到相邻的另一耐张段。

(2) 转角杆塔。它是在线路转角处用的,亦起线路分段和控制事故范围的作用,在正常情况下承受导线及避雷线的角度合力,在事故情况下承受断线拉力。

(3) 终端杆塔。它是在线路的起止点用的经常承受着一侧的导线及避雷线的拉力。

2. 换位杆塔

换位杆塔又分为直线换位杆塔和耐张换位杆塔。主要起导线换位作用。耐张换位杆塔除了导线换位外,还起到耐张杆塔的作用。

3. 分支杆塔

分支杆塔用在线路有分支线处,有耐张杆分支、亦有直线杆分支,分支方向经常承受导线及避雷线的拉力。

4. 直线杆塔

在两承力杆塔间的杆塔,它在正常情况下主要承受导线及避雷线的垂直荷载和水平风压荷载,一般又分为以下两种:

(1) 普通直线杆塔。

(2) 直线跨越杆塔。用于跨越河流、铁路、公路及高压电力线和通信线等,一般均较普通直线杆塔高。有些地方采用特高直线跨越杆塔。

五、按杆塔是否带拉线分类

分为带拉线杆和不带拉线杆两大类,除铁塔外一般承力杆都带拉线。

直线杆中,对水泥杆来说,一般等径杆均带拉线。而锥形(拔梢)杆及轻型钢杆一般不带拉线,或在相隔一定数量的直线杆中某一基杆加装人字拉线或三角形拉线。

带拉线的原因是:输电线路上的设计最大荷载(如断线、最大



覆冰、最大风速等)并不是经常发生的,而杆塔强度又必须按最大荷重进行设计,这对电杆的结构型式有很大的影响,而带拉线的电杆,由于拉线承受了荷载的主要部分,故可使混凝土杆结构简化重量大为减轻,节约了大量的钢材和投资。

因此带拉线的电杆具有以下的主要优点:

- (1) 简化了的电杆的结构型式。
- (2) 减轻了电杆质量,对节约钢材用量有很大意义。
- (3) 能减小事故(断线)情况下对于电杆的冲击作用。

(4) 用拉线时,使钢筋混凝土电杆的主要荷载变为中心受压,承受弯曲力矩甚小,充分发挥钢筋混凝土电杆结构的抗压强度大的特性,节省大量钢材。

(5) 现在广泛采用电杆的情况下,使用拉线可使线路机械强度大为增加,简化了电杆的设计和制造工作,并有条件进一步放大线路的档距,减小电杆基数。

(6) 虽然钢筋混凝土电杆已被广泛采用,人们在这方面也积累了很多经验,也得到普遍应用。但尚存有以下几个方面的缺点,有待进一步研究解决:

- 1) 拉线杆占地面积大,对农业机械化有妨碍;
- 2) 因需调整拉线及更换锈蚀拉线等,而使运行维护工作量增加,这时有腐蚀性气体和土质的问题对拉棒和镀锌的绞线锈蚀特别利害。

第二节 架空线路的导线种类和截面选择

导线是架空线路的主要部分,它的作用是传输电流。导线架设在杆塔上,需要承受较大的机械荷重,因此要求导线不仅电气性能好,而且机械强度要大,并有较强的抗腐蚀性能。

一、导线的种类

导线的种类很多,现仅就一般用于架空输电线路上的裸绞线加以介绍。



裸绞线型号的符号由两段组成，如 LGJ-240。其中第一段代表导线材料和特性的代号，如：T—铜；L—铝；G—钢；M—镁；J—绞线；Q—轻型；J—排于后一个字代表加强型。

第二段的数字代表导线的标称截面。

(1) 铜绞线(TJ)。在架空线路中，铜导线的导电性能最好，它的硬度和机械强度都比较大，抗蚀性较强。但由于铜是重要的战备物资，其他用途也很广，产量不多，故要求尽量以铝代铜。

(2) 硬铝绞线(LJ)。其导电性能比铜线稍差，电导率约为铜的 60%。优点是比较轻，价格较低廉。但其机械强度和硬度均较低，因此除用于低压配电线路外，输电线路上一概不使用。

(3) 钢芯铝绞线(LGJ)。为了克服铝绞线机械强度低的缺点，在铝绞线的中心加上一部分钢绞线，从而组合成钢芯铝绞线，使其中铝线部分主要起传导电流的作用，钢芯主要起承受机械荷重的作用，这样一来，其导电性能较好、机械强度也较大。因此，钢芯铝绞线在架空输电线路被广泛使用。但其表面铝的硬度及耐磨性均较差，在通过硬物体上容易磨损，故在放线施工中必须特别注意防止损坏。

(4) 轻型钢芯铝绞线(LGJQ)。轻型钢芯铝绞线与钢芯铝绞线比较，相同的标称截面，铝芯股部分截面基本相等，但其钢芯部分的截面较钢芯铝绞线小些，相应的综合拉断力亦较小，故叫轻型钢芯铝绞线。

(5) 加强型钢芯铝绞线(LGJJ)。加强型钢芯铝绞线与钢芯铝绞线比较，相同的标称截面，铝股部分截面基本相等(各种钢芯铝绞线的标称截面均以其铝股截面计算的)，但其钢芯部分截面较大些，相应的综合拉断力也较大些，故叫加强钢芯铝绞线。

(6) 镀锌钢绞线(GJ)。镀锌钢绞线的特点是硬度及机械强度大。其缺点是导电性差，并且容易生锈，因而钢绞线必须镀锌，一般用于架空避雷线及杆塔的拉线。用钢绞线作导线的情况多用于输电线路的个别特大跨越处(如跨江河及大山谷等)。



(7) 铝镁合金绞线(LMJ): 因铝镁合金绞线较硬铝绞线的机械强度大, 接近于铜, 并能保持质地轻的特点, 其电导率约比纯铝低 10%~12%, 重量亦接近于铝, 故兼有两者的优点。运行经验证明, 这种导线在机械强度方面完全和钢芯铝绞线相当, 是可取的。此外, 在输电线路中对个别特大跨越中, 还根据设计要求, 生产不定型号的铝包钢绞合导线(GLJ)。其性能主要满足其机械强度, 相对地达到其导电要求。

二、导线截面选择的基本原则

电压在 35kV 以下的输电线路中, 导线截面的选择是根据允许电压损耗来决定的, 但须按照导线容许电流(也就是发热条件)来进行校验。

电压在 35kV 以上的输电线路中, 导线截面的选择并不是按允许电压损耗来决定的, 而是由建设线路的投资和每年运行费用及五年预计输送的电力, 并考虑线路五年以后的运行性质等来决定。增大导线截面可减少电能损耗($\Delta W = I^2 R t$), 但增加了建设投资; 减少导线截面得其相反结果。因此必须全面考虑, 决定出符合总的经济利益的导线截面叫做导线经济截面。与导线经济截面相对应的电流密度叫做经济电流密度。经济电流密度决定了, 导线经济截面就可决定。

经济电流密度的计算与许多因素有关, 我国现行的经济电流密度如表 1-1 所示。

导线种类	最大负荷使用时间(h)		
	3000 以下	3000~5000	5000 以上
铜导线	3	2.25	1.75
铝线或钢芯铝线	16.5	1.15	0.9

$$S(\text{导线截面}) = \frac{I_U(\text{导线电流})}{J(\text{经济电流密度})} \quad (\text{mm}^2)$$

通常情况一般可按在 5000h 以上时铝导线可按 J (经济电流



密度) $=1.2\text{A}/\text{mm}^2$ 设计。经济电流密度的确定, 涉及电力和有色金属等部门的供应、分配和发展等国民经济情况进行修订标准。

现将常用电压和导线按经济电流密度为 $1.15\text{A}/\text{mm}^2$ 计算, 其经济输送容量如表 1-2 所示。

表 1-2 常用导线的经济输送容量 kVA

电压(kV)		kVA		
		35	110	220
导线型号	输送容量			
	LGJ-70		4730	14900
LGJ-95		6630	20900	
LGJ-120		8020	25300	
LGJ-150		10300	32400	
LGJ-185		12600	39000	
LGJ-240		16600	52200	102500
LGJQ-300			63600	127500
LGJQ-400			86000	172000

按经济电流密度选定了导线截面之后, 一般还应按电晕进行验算。但如线路在海拔不超过 1000m 的地区, 导线直径不小于表 1-3 所列数值时, 可不验算电晕。

表 1-3 不必验算电晕的导线最小直径

额定电压(kV)	110	154	220	330	
最小导线外径(mm)	9.6	13.7	21.3	33.2	2×21.3
最小的导线型号	LGJ-70	LGJ-95	LGJ-240		$2 \times \text{LGJQ-240}$
	LJ-70	LJ-120	LGJQ-240		$2 \times \text{LGJ-240}$
	TJ-70	TJ-120			

第三节 架空线路的各种档距

架空输电线路是由很多杆塔支持着导线而连成，杆塔之间的不同的距离称做各种不同的档距。

1. 档距

两座相邻的杆塔导线悬点间(或杆塔轴线间)的水平距离，称这两座杆的档距，如图 1-1 所示，其单位是米(m)。

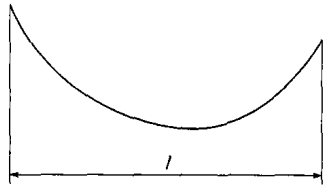


图 1-1 档距

2. 水平档距

两相邻档距的平均值即水平档距。计算杆塔水平荷重时，需用这种档距。如图 1-2 中 A 塔的水平档距为

$$l_p = \frac{1}{2}(l_1 + l_2) \quad (\text{m})$$

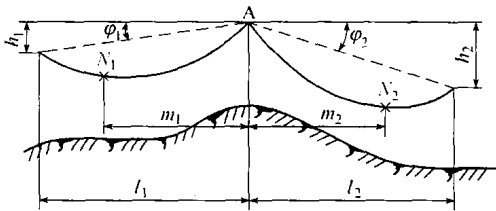


图 1-2 杆塔水平档距、垂直档距

3. 垂直档距

垂直档距是指两相邻档距中导线弛度最低点间的水平距离。计算杆塔垂直荷重时，需用这种档距。如图 1-2 中 A 塔的垂直档距为

$$l_w = m_1 + m_2 \quad (\text{m})$$

4. 耐张段距(长度)



两相邻承力杆塔中心间的水平距离，叫耐张段距。一个耐张段距可能由一个档距或多个档距组成。用于累计线路长度和计算代表档距。如图 1-3 中，A 塔至 B 塔间的耐张段距

$$\sum l = l_1 + l_2 + \cdots + l_{n-1} + l_n$$

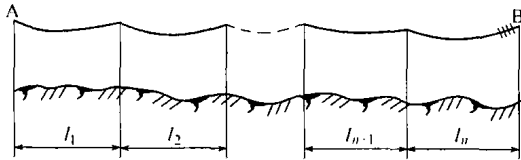


图 1-3 耐张段长度示意图

5. 代表档距(规律档距)

在一个具有若干悬挂垂绝缘子串的直线杆塔的连续档的耐张段中，各档电线水平应力 σ 是按同一值设计的，但当气象条件变化时，由于各档的档距线长及高差不一定相同，各档应力变化就不完全相同，从而使直线杆塔上出现不平衡张力差，使悬挂绝缘串产生偏斜，偏斜结果则又使各档应力趋于基本相同的某一数值上，这个应力可称为耐张段内的代表应力，其值是用耐张段内的所谓“代表档距”代入电线状态方程式中求出的。能够代表这种水平应力变化的一种悬挂点等高的孤立档的档距称为该耐张段的代表档距 l_{db} 。

一个耐张段中各直线档高差比较大时，其计算公式如下

$$l_{db} = \sqrt{\frac{\sum l^3 \cos \varphi}{\sum \frac{l}{\cos \varphi}}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{h}{l}$$

式中 l_{db} ——耐张段架空线的代表档距(m)；

l ——耐张段各档的档距(m)；

φ ——耐张段各档架空线悬挂点高差角；

h ——两相邻杆之高差(m)。

在平原小丘陵地区若连续档各档的悬挂点高差角 φ 都很小时, 可不考虑高差影响, 这时的代表档距为

$$l_{db} = \sqrt{\frac{\sum l^3}{\sum l}}$$

6. 临界档距

导线的最大应力可能产生在最大荷重, 也可能产生在最低温度。当档距很小时, 则温度的影响很大, 其最大应力将出现在最低温度。如档距很大, 则荷重的影响很大, 其最大应力将出现在最大荷重。若档距等于某一适当值时, 则最大荷重的应力与最低温度时的应力恰好相等, 这个档距就称为临界档距。

7. 标准档距

经过技术经济比较后, 得出的最经济的档距即为标准档距。在设计中均以此档距来考虑排定杆位。

8. 最大允许档距

最大档距的极限值不仅取决于杆塔的设计条件, 同时还受线间距离的控制。即在一定的线间距离条件下, 档距达到某一数值, 当导线摆动时, 在导线的最低点能发生闪络。由线间距离控制的最大档距称为最大允许档距, 它是定位中所采用的最大档距。

第四节 架空线路的弧垂和限距

一、架空输电线路的弧垂

导线的悬挂点在同样高度时, 其连接两个悬挂点的水平线与导线最低点的垂直距离, 称为架空输电线的弧垂 f , 如图 1-4(a) 所示。导线悬挂点不在同样高度时, 其弧垂可以分为两个, 即导线的两个不同悬挂点至导线最低点的两个垂直距离 f_1 、 f_2 , 如图 1-4(b) 所示。

二、限距(安全距离)

导线各点对地及其他设施(包括地面、最高水面、建筑物、电力

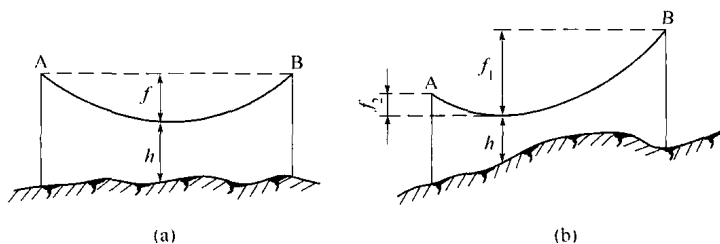


图 1-4 弧垂示意图

(a) 悬挂点在同一高度；(b) 悬挂点不在同样高度

线、通信线、树木等)的安全垂直距离、水平距离及导线对杆塔本体的最小距离称为限距，其规定值见表 1-4~表 1-12。

表 1-4 导线最大弧垂时与地面的最小距离

m

线路电压(kV)	35~110	154~220	330
线路经过地区			
居民区	7.0	7.5	8.5
非居民区	6.0	6.5	7.5
交通困难地区	5.0	5.5	6.5

- 注 1. 居民区指工业企业地区、港口、码头、火车站城镇公社等人口密集地区。
 2. 非居民区指上述居民区以外的地区，均属非居民区。虽然时常有人、车辆、农业机械到达，但未建房屋或房屋稀少的地区，也属非居民区。
 3. 交通困难地区指车辆、农业机械不能到达的地区。

表 1-5 导线最大弧垂与建筑物之间的最小垂直距离

线路电压(kV)	35	60~110	154~220	330
垂直距离(m)	4.0	5.0	6.0	7.0

表 1-6 导线最大弧垂与树木(考虑自然生长高度)的最小垂直距离

线路电压(kV)	35~110	154~220	330
垂直距离(m)	4.0	4.5	5.5