

程玉清

架空输电线路运行和 检修基础知识

水利电力出版社

架空输电线路运行和检修基础知识

杜玉清

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经销

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7印张 151千字

1990年9月第一版 1990年9月北京第一次印刷

印数 3001—4600册

ISBN 7-120-01128-6/TM·324

定价3.85元

内 容 提 要

本书主要介绍有关架空输电线路运行和检修方面的基础知识。全书共分七章，内容包括输电线路的基本常识、绝缘配合、力学基本知识、导线机械计算、起吊杆塔受力和主杆与拉线基础计算，以及路径选择、杆塔定位和识图等。

本书可作为架空输电线路运行和检修技术工人的培训教材，也可供有关专业工程技术人员参考。

前 言

为了提高架空输电线路运行和检修工人的技术水平，我们组织编写了《架空输电线路运行和检修基础知识》、《架空输电线路运行》和《架空输电线路检修》三本书，作为架空输电线路运行和检修工人的培训教材或自学用书。

这三本书是按照原电力工业部颁发的工人技术等级标准中有关应知、应会要求，并请富有多年线路工作实践经验的同志编审的。三本书中内容，经过充分协调，既紧密相关又不重复，且注意到理论联系实际、深入浅出，突出线路工人读物的特点。

三本书的初稿完成后，除了请上海市中供电公司王之珮同志进行认真审稿外，编者之间还进行了互审。北京供电局输电管理处吴渝生同志对三本书作了复核和协调工作，最后由华北电力设计院杜玉清同志对三本书又作了统改工作。此外，在编写过程中还注意听取了许多供电部门的意见，但由于水平所限，书中难免存在错漏或不妥之处，欢迎读者提出宝贵意见，以便改进。

能源部电力司

一九八九年十月二十日

目 录

前言

第一章	输电线路基本常识	1
第一节	电力系统和电力网概述	1
第二节	输电线路的输送容量	6
第三节	架空输电线路的结构	15
第二章	绝缘配合	50
第一节	过电压种类和绝缘配合原则	50
第二节	绝缘子片数的确定	52
第三节	空气间隙的确定	58
第四节	线间距离	63
第五节	耐雷水平的计算	67
第六节	导线对地距离和交叉跨越	79
第三章	力学基本知识	89
第一节	力的三要素	89
第二节	力的合成和分解	90
第三节	杆件受力计算原理	93
第四节	悬臂梁及简支梁受力计算	97
第五节	钢材的机械性能和化学成份	105
第六节	杆件的强度计算	110
第四章	导线机械计算	120
第一节	气象条件	120
第二节	导线比载计算	122
第三节	导线的应力计算	125
第四节	导线弧垂、线长及悬挂点应力计算	136
第五节	导线风偏角计算	139

第六节	电杆荷载计算	144
第五章	检修起吊杆塔受力计算	148
第一节	杆塔重心及杆段重量	148
第二节	倒落式人字抱杆整立杆塔受力计算	151
第三节	固定抱杆整立杆塔受力计算	160
第四节	抱杆承载力计算	163
第五节	滑车	167
第六节	手推绞磨计算	170
第七节	钢丝绳和卸扣环强度计算	172
第六章	电杆和拉线的基础计算	175
第一节	土壤种类和计算参数	175
第二节	电杆基础计算	180
第三节	拉线基础计算	187
第七章	路径选择、杆塔定位和识图	196
第一节	路径选择和杆塔定位	196
第二节	线路识图	202

第一章 输电线路基本常识

第一节 电力系统和电力网概述

一、电力系统和电力网的构成

通常将发电厂、输配电线路、变电所、配电设备和电力用户等连接起来构成的整体称为电力系统。在电力系统中，由输电线路(或称送电线路)与变电所联成的网络叫电力网。

一般，将在某地区内供电距离较短、输送功率较小的电力网叫做地方电力网，将几个地方电力网联合起来，形成供电范围较广、距离较长、输送功率较大的电力网叫做区域电力网。

目前我国输电线路的电压等级为35、60、110、154、220、330、500kV。其中154kV为非标准电压等级，60和330kV为限制发展电压等级。

二、组成电力系统的优点

(1) 提高供电可靠性：当电力系统中部分发电厂、变电站或线路发生事故停电，或进行设备检修停电时，可以由其它发电厂和线路向用户供电，从而可保证供电的连续性和可靠性。

(2) 保证电能质量：即保证电压和频率(周波)符合规定值。由于电力系统的容量大，对于局部负荷的增加或减少，不致于影响系统的电压和频率大幅度地变化，因此，可获得良好的供电质量。

(3) 提高供电的经济性：当某一地区的用电量减少

时，可将该地区的多余电力输送给其它地区，整个电力系统内的电力可以互相调济，使电力分配合理，做到经济运行。

(4) 减少装机容量：为了保证连续安全供电，往往需要备用一些发电设备，以备发生事故或检修发电机时，随时启动备用发电机。虽然各地区的用电高峰不同时出现，而且各地区的用电量也不相等，但由于电力系统的实现，可以互相调济电力，从而可减少各地区的备用发电设备，降低电厂建设规模和投资。

(5) 充分利用动力资源：由于电力系统的建立，可以在动力资源（煤炭、水力、石油、天然气、地热等）丰富的地区建设大容量的发电厂，并利用输电线路将电力输送到动力资源缺乏的用电中心，从而充分地利用动力资源。

此外，还可以利用火力发电厂和水力发电厂联合运行的方式：在丰水期，水力发电厂多发电而火力发电厂少发电，以节省燃料；在枯水期则由火力发电厂供电，仅当用电高峰时将水力发电厂投入运行。这样的联合运行方式，可以充分利用煤炭和水力资源，做到经济运行。另外，还可以使效率高煤耗少的发电机多发电，而耗煤多效率低的发电机少发电或备用，这样可减少发电成本提高经济性。

三、电力系统中性点接地方式

电力系统中的发电机、变压器都是由三个绕组组成的。每一个绕组称为一相，三个绕组分别称为A、B、C三相。发电机、变压器的三个绕组的一端互相连接为一点，该点称发电机、变压器的中性点。三个绕组的这种连接方式称为星形接线。星形接线中性点直接接地，如图1-1所示。三个绕组AO、BO、CO分别为A相、B相、C相。线路导线与A点连接者称为A相，与B点连接者称为B相，与C点连接者称为

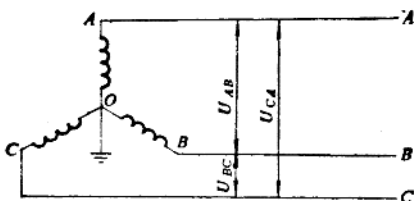


图 1-1 星形接线中性点直接接地

C相，输电线路即由A、B、C三相供电。

电力系统中发电机、变压器中性点的接地方式有两种。一种是中性点直接与接地装置连接，称为中性点直接接地系统，如图1-1所示。另一种是中性点不接地或经消弧线圈、高电阻接地，称为中性点不直接接地系统，如图1-2所示。

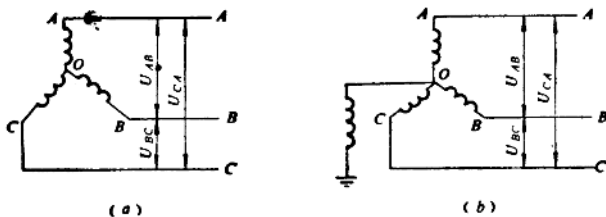


图 1-2 中性点不接地或经消弧线圈接地系统

(a)中性点不接地系统；(b)中性点经消弧线圈接地系统

中性点不直接接地系统，当一相导线发生接地事故时，线电压保持不变，接地电流为电容电流。因此，在一相接地事故情况下，线路仍可在短时间内继续供电，不必立即切断线路。这时可寻找故障点及时抢修或倒闸操作由其它线路供电，从而使供电不受影响，提高了供电的可靠性。但这种接

地方式的内过电压（或称操作过电压）较高。在我国，电压为35kV和60kV的电力系统多采用中性点不直接接地方式运行。

中性点不直接接地的35kV电力系统，当接地电流超过10A时，容易产生间歇电弧，因此应采用经消弧线圈接地，以减少接地电容电流。对于60kV的电力系统，由于一相接地事故时，接地电流较大，因此，一般都采用中性点经消弧线圈接地的方式。

电压110kV及以上的电力系统，一般都采用中性点直接接地的方式。这主要是因为当一相发生接地事故时，内过电压值较中性点不直接接地时降低20%~30%，因此可以减少电气设备绝缘的费用。但是这种中性点直接接地方式的单相接地电流非常大，一遇接地事故时，必须将线路跳闸，以免电气设备承受大电流的危害，所以事故跳闸频繁。为了弥补这一缺点，一般可装设自动重合闸。当线路遇有瞬时接地事故时，线路跳闸停电，待0.5~1s后又自动合闸送电，如在0.5~1s内瞬时效故能自行消除，线路可继续送电，从而减少了线路停电次数。如遇到永久性接地事故时，即使重合闸后，还会立即再跳闸（因为接地事故未消除），这时不得再重合闸，待检修处理完毕后，再行送电。

由于中性点直接接地的电力系统中，当线路发生单相接地事故时的接地电流（或称单相接地短路电流）很大，因此对输电线路附近的电信线路，可能引起电磁危险影响。所以在线路运行中须注意，如对输电线路附近新出现的通信线有影响，应由通信部门负责采取防护措施。

四、线电压和相电压

在电力工程中，电气设备各相绕组两端点之间的电压称

为相电压；两相导线之间的电压称为线电压。由中性点引出的导线称为中性线（俗称地线或零线），每相导线与中性线的电压称为导线对地电压（即导线对中性点的电压）。

如图 1-1 所示的中性点直接接地系统，每个绕组的电压（相电压 U_{xx} ）分别为 U_A 、 U_B 、 U_C ，而且均相等，即 $U_A = U_B = U_C = U_{xx}$ 。 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 分别为线电压并相等，即 $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U$ 。在正常运行情况下，线电压等于相电压的相量和，即线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。而每相导线对地电压等于相电压，表示为：

$$U = \sqrt{3}U_{xx} \quad (1-1)$$

$$E_0 = U_{xx} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (1-2)$$

式中 U ——线电压（kV）；

U_{xx} ——相电压（kV）；

E_0 ——导线对地电压（kV）。

例如电压为220kV的中性点直接接地系统的送电线路，

$$\text{其相电压 } U_{xx} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127\text{kV}.$$

中性点直接接地的系统，当发生一相接地事故时，故障相导线对地电压等于零，而非故障相的导线对地电压等于原相电压。

如图 1-2 所示的中性点不直接接地系统，或经消弧线圈接地时，在线路正常运行情况下，线电压等于 $\sqrt{3}$ 倍相电压，导线对地电压等于相电压。但发生一相接地事故时，故障相的导线对地电压等于零，而非故障相的导线对地电压则为 $\sqrt{3}$ 倍的原相电压，即等于线电压。

第二节 输电线路的输送容量

在输电线路运行中，必须掌握每条线路在不同条件下能够输送的容量，如果输送容量超过允许值，就会引起导线过热，降低导线的机械强度，甚致可能引起断导线事故。如果输送容量过小，则不能充分发挥线路的输电能力，因而降低了经济效益。所以只有掌握线路能够输送的容量，才能做到安全经济地运行。一般可按以下几种方法来确定输电线路能够输送的容量。

一、按经济电流密度确定输送容量

按经济电流密度确定输送容量时，可按下列式计算，即

$$P_j = \sqrt{3} U_e J S \cos\varphi \quad (1-3)$$

式中 P_j ——经济输送容量 (kW)；

U_e ——线路额定电压 (kV)；

J ——经济电流密度 (A/mm²)；

S ——每一相导线截面 (mm²)；

$\cos\varphi$ ——功率因数。

所谓经济电流密度，系指线路按该电流密度送电时，其经济效果最好。经济电流密度与电力、有色金属的供应、分配和发展等国民经济情况有关，各国采用的数值也不完全相同。目前我国采用的经济电流密度如表 1-1 所列数值。

年最大负荷利用小时数可按下列式求得，即

$$T_m = \frac{W}{P_m} \quad (1-4)$$

式中 T_m ——全年最大负荷利用小时数 (h)；

W ——全年输送的电能 (kW·h)；

表 1-1 经济电流密度 (A/mm²)

导线材料	年最大负荷利用小时数		
	3000以下	3000~5000	5000以上
铝线、钢芯铝绞线	1.65	1.15	0.9
铜线	3.0	2.25	1.75

P_m ——最大运行负荷 (kW)。

年最大负荷利用小时 T_m 的意义是, 当线路以最大负荷 P_m 运行时, 在 T_m 小时内输送的电能 (即 $T_m P_m$) 恰好等于全年实际输送的电能。

对各类负荷的年最大负荷利用小时数, 可采用表 1-2 所列数值。

表 1-2 各类负荷的年最大负荷利用小时数

负 荷 类 型	年最大负荷利用时间(h)
室内照明及生活用电	2000~3000
单班制企业用电	1500~2200
两班制企业用电	3000~4500
三班制企业用电	6000~7000
农业用电	2500~3000

例如某额定电压为110kV的输电线路, 每相导线采用一根LGJ-240钢芯铝绞线, 功率因数 $\cos\varphi=0.85$, 供电负荷类型为三班企业用电, 若求线路的经济输送容量, 则可由表1-1查得经济电流密度 $J=0.9\text{A/mm}^2$, 便得经济输送容量为

$$\begin{aligned}
 P_j &= \sqrt{3} U_e J S \cos \varphi \\
 &= \sqrt{3} \times 110 \times 0.9 \times 240 \times 0.85 \\
 &\approx 35000 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

当 J 分别为 0.9 A/mm^2 及 1.15 A/mm^2 时, 各级电压输电线路的经济输送容量可按表1-3和表1~4直接查得。

二、按电压损失确定输送容量

当甲端以额定电压 U_e 向乙端送电时, 由于线路导线电阻、电抗、电流等效应, 致使线路电压降低, 到达乙端时电压变为 U 。甲乙两端的电压差称为电压损失 ΔU (通常以百分数表示), 即:

表 1-3 $J=0.9 \text{ A/mm}^2$ 时输电线路的经济输送容量
(MVA)

导线型号 \ 额定电压 (kV)	35	60	110	220	330	500
LGJ-35	1.9	3.3	—	—	—	—
LGJ-50	2.7	4.7	—	—	—	—
LGJ-70	3.8	6.5	12	—	—	—
LGJ-95	5.2	8.9	16.3	—	—	—
LGJ-120	6.5	11.2	20.6	—	—	—
LGJ-150	8.2	14	25.7	—	—	—
LGJ-185	10.1	17.3	31.7	—	—	—
LGJ-240	12.1	22.4	41.1	—	—	—
LGJQ-300	—	28	51.4	103	—	—
LGJQ-400	—	—	—	137	—	—
LGJQ-300×2	—	—	—	206	308	—
LGJQ-300×4	—	—	—	—	—	935
LGJQ-400×4	—	—	—	—	—	1250

注 表中数值乘以功率因数, 即得经济输送容量(MW)。

表 1-4 当 $J=1.15\text{A}/\text{mm}^2$ 时, 输电线路的经济输送容量
(MVA)

导线型号 \ 额定电压 (kV)	35	60	110	220
LGJ-35	2.4	4.2	—	—
LGJ-50	3.5	6.0	—	—
LGJ-70	4.9	8.3	15.3	—
LGJ-95	6.6	11.3	20.8	—
LGJ-120	8.4	14.3	26.3	—
LGJ-150	10.4	17.9	32.8	—
LGJ-185	12.9	22.1	40.5	—
LGJ-240	16.7	28.6	52.5	—
LGJQ-300	—	35.8	65.7	131
LGJQ-400	—	—	—	175

注 与表1-3相同。

$$\Delta U = \frac{U_e - U}{U_e}$$

电压是电能质量的一个重要指标。一般规定电压损失不得超过10%，根据这一规定，我们可按式(1-5)求得电压损失不超过规定时的线路输送容量。

$$P = \frac{W_l}{l} \quad (1-5)$$

式中 P ——输送容量 (kW)；
 W_l ——负荷矩 (kW·km)；
 l ——线路长度 (km)。

各级电压和不同功率因数时，当电压损失为10%时的负荷矩如表1-5~表1-7所列数值。

例如有一条额定电压为220kV的输电线路，全长150km，

表 1-5 额定电压为35kV，线路电压损失10%时的负荷矩
(MW·km)

功率因数 导线型号	0.9	0.85	0.8	0.75	0.70
LGJ-35	115.9	109.3	104.1	99.5	94.9
LGJ-50	143	134	126.5	120	113.2
LGJ-70	185.7	171	159	148.7	139
LGJ-95	234	212	194.5	179	166
LGJ-120	265	238	216	198	182.3
LGJ-150	308	271.5	244.5	222	202
LGJ-185	346	301.5	260	242.5	219.5

采用LGJ-300导线，功率因数 $\cos\varphi=0.85$ 。若求电压损失为10%的输送容量，则从表1-7查得电压损失为10%时的负荷矩 $W_1=13500\text{MW}\cdot\text{km}$ ，便得线路的输送容量为

$$P = \frac{13500}{150} = 90\text{MW}$$

三、按发热条件确定输送容量

输电线路在运行中，由于电阻、电流效应，往往使导线发热。根据规定，铝绞线及钢芯铝绞线在正常运行情况下，其最高允许温度为 $+70^\circ\text{C}$ ，（大跨越导线最高允许温度为 $+90^\circ\text{C}$ ）。根据这一规定，在最高允许温度下，线路的输送容量可按下列式计算。

$$P = \sqrt{3} U_n I \cos\varphi \quad (1-6)$$

式中 P ——按发热条件下允许的输送容量 (kW)；

U_n ——线路的额定电压 (kV)；

I ——导线的允许最大电流 (A)；

$\cos\varphi$ ——功率因数。

表 1-6 额定电压为60、110kV, 线路电压损失10%时的负荷矩 (MW·km)

额定电压U ₀	60kV						110kV							
	0.9	0.85	0.80	0.75	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
功率因数 导线型号														
LGJ-35	337	318.5	303	288.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LGJ-50	416	389.5	366	345	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LGJ-70	538	496	459.5	430	2000	1797	1650	1530	1425	—	—	—	—	—
LGJ-95	674	604	559	515	2570	2250	2025	1855	1705	—	—	—	—	—
LGJ-120	766	684	622	566	2960	2545	2268	2058	1880	—	—	—	—	—
LGJ-150	883	777	700	633	3480	2935	2580	2320	2095	—	—	—	—	—
LGJ-185	992	793	766	689	3960	3285	2860	2540	2275	—	—	—	—	—
LGJ-240	—	—	—	—	—	3705	3180	2800	2495	—	—	—	—	—