

配电网实用技术

孙成宝 李广泽 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

全书共分十二章,较详细地介绍了配电网的负荷预测、规划设计,架空配电线路及其施工,电缆线路及其施工,配电变压器容量选择、安装接线、运行与维护,配电网的电压变动与无功补偿,配电网的防雷与接地,箱式变电站,配电网的新装备等基本知识。内容具体实际,通俗易懂,便于自学。

本书可作为从事配电工作的人员在工作中的工具书,也可供有关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电网实用技术/孙成宝,李广泽主编. —北京:中国水利水电出版社,1997
ISBN 7-80124-470-2

I. 配… I. ①孙… ②李… II. 配电系统-技术 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13734 号

书 名	配电网实用技术
作 者	孙成宝 李广泽 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 445 千字
版 次	1998 年 2 月第一版 1998 年 2 月北京第一次印刷
印 数	0001—5070 册
定 价	30.00 元

前 言

随着我国电气化事业的发展和新技术、新装备及新工艺的不断出现，配电网的技术状况也有了截然的改观。城市电网的改造、环网供电的实施、电力电缆及绝缘导线的应用逐步取代架空明线、住宅小区供电的箱式变电站、全绝缘变台及农村电网的重合器、分段器的应用等，所有这些都要求供电局、农电局从事配电工作的人员更新观念，进一步提高技术业务水平，适应形势发展的需要。为此，我们广泛收集了国内外有关资料，根据多年从事配电工作的实践经验，编写了本书，并希望它能成为一本工具书，供从事配电工作的人员在工作中参考使用。

全书共分十二章，较详细地介绍了配电网的负荷预测、规划设计，架空配电路及其施工，电缆线路及其施工，配电变压器容量选择、安装接线、运行与维护，配电网的电压变动与无功补偿，配电网的防雷与接地，箱式变电站，配电网的新装备等基本知识。内容具体实际，通俗易懂，便于自学。

在编写本书的过程中，沈阳电业局各供电局的领导和同事们曾多次进行了审阅，提出了许多宝贵意见，并给予了大力支持和帮助，编者在此表示诚挚的谢意。

编者的意愿是良好的，希望阅读本书的读者，能对配电技术有一个较详细的了解，对从事的工作有所帮助。但是，限于编者的水平，书中遗漏和错误之处在所难免，深望各同行专家和广大读者不吝指正。

编 者

于沈阳

1997年3月

目 录

前 言

第一章 配电网的负荷与负荷预测	1
第一节 各类用户的负荷特性	1
第二节 各种不同性质的负荷	2
第三节 负荷预测与计算	3
第二章 配电网规划与设计	8
第一节 配电网规划、设计特点	8
第二节 配电网的接线方式	11
第三节 路径勘察	14
第四节 配电线路的设计	15
第三章 架空配电线路	23
第一节 架空线路的结构	23
第二节 架空配电线路常用电气设备	33
第三节 架空绝缘线	38
第四节 架空配电线路的运行与故障	40
第四章 架空配电线路的施工	45
第一节 施工常用工具	45
第二节 杆顶组装	49
第三节 架空线路的架设	61
第四节 接户线的安装	72
第五章 电力电缆线路	74
第一节 电力电缆的种类及结构	74
第二节 电缆的载流能力及温升	78
第三节 电力电缆截面的选择	82
第四节 地埋电力线路	84
第五节 电缆线路的运行维护	86
第六节 电力电缆的试验	89
第六章 电力电缆线路的施工	99
第一节 电力电缆线路的敷设	99
第二节 制作电缆头的基本要求	104
第三节 10 kV 交联聚乙烯绝缘电缆终端头制作工艺	106
第四节 10 kV 交联聚乙烯绝缘电缆中接头制作工艺	112
第五节 10 kV 油浸纸绝缘电缆户内外终端头制作工艺	120

第六节	10 kV 油浸纸绝缘电缆中间接头制作工艺	127
第七节	1 kV 及以下电缆终端头、中间接头制作工艺	133
第七章	配电变压器的容量及安装接线	137
第一节	配电变压器容量的选择	137
第二节	变压器安装位置的选择	147
第三节	配电变压器小型化的经济效益	150
第四节	变压器台安装要求	153
第五节	配电变压器的保护装置	158
第八章	配电变压器的运行与维护	161
第一节	配电变压器的技术参数	161
第二节	变压器的允许运行方式	164
第三节	变压器的并列运行	172
第四节	变压器的经济运行	175
第五节	变压器的故障分析	180
第六节	变压器的运行和维护管理	186
第九章	配电网的电压变动与无功补偿	197
第一节	电压损耗和电压损耗率	197
第二节	电压波动的原因和调整措施	199
第三节	无功功率补偿及其方法	203
第四节	补偿电容器	207
第五节	配电线路无功负荷的最优补偿	214
第六节	电力用户无功负荷的最优补偿	221
第七节	电容器的运行与维护	230
第十章	配电网的防雷与接地	233
第一节	雷电的形式及防雷措施	233
第二节	防雷元件	234
第三节	配电设备的防雷保护	237
第四节	接地装置	240
第五节	接地装置的维护与测量	248
第十一章	箱式变电站	251
第一节	住宅小区供电方案	251
第二节	箱式变电站	252
第三节	箱变元件的选择与有关问题	255
第四节	户外组合式全绝缘配电变台	256
第五节	箱式站供电设施的运行维护	258
第十二章	配电网的新装备	261
第一节	重合器	261
第二节	自动线路分段器	272

第三节	六氟化硫负荷开关	281
第四节	高压限流熔断器	284
第五节	RMW ₂ —10/100 型有灭弧装置的跌落式熔断器	295
第六节	合成绝缘氧化锌避雷器	297
参考文献	300

第一章 配电网的负荷与负荷预测

第一节 各类用户的负荷特性

一、居民住宅

居民住宅的用电设备主要是电灯、家用电器，如电风扇、收音机、电视机、洗衣机、电热毯、电熨斗、电冰箱、空调器、热水器、电饭锅、电炉、电灶等。需用系数较高，一般为70%~95%；年负荷率为10%~20%，即年15 min最大负荷利用小时数为900~1800 h左右，一般沿海城市较高，内地较低；同时率为0.9~0.85。

二、机关团体

机关团体的用电设备主要是电灯、电风扇、空调器、电梯、电开水器、电冰箱、红外消毒器、吹风机、锅炉房的风机水泵等。需用系数一般为60%~90%；年负荷率为15%~25%，即年15 min最大负荷利用小时数为1350~2250 h左右；同时率为0.85~0.80。

三、商业大楼

商业大楼是指宾馆、餐厅、百货商场、贸易中心等高层建筑而言，用电设备除电灯、电风扇、电视机外，还有空调、电梯、水泵等。需用系数较低，一般为40%~70%；年负荷率为25%~30%，即年15 min最大负荷利用小时数为2250~2700 h左右；同时率为0.9~0.85。

四、路灯

路灯的需用系数接近100%；负荷率夏季约为25%~35%，冬季可达50%；同时率接近于1。

五、工业

凡以电为原动力，或以电冶炼、烘焙、熔焊的一切工业生产的用电设备以及生产车间的照明、空调等都在内。由于一班、二班、三班生产的不同，规模大小、产品种类的差异，各种系数也随之而有很大差距。一班生产、二班生产的需用系数约为50%~80%，但负荷率前者只有25%~30%，即月最大负荷利用小时数180~220 h，后者可达40%~55%，即月最大负荷利用小时数290~400 h。三班生产的机械、水泥等行业需用系数约为60%~80%，负荷率约为60%~70%；钢铁、煤炭、纺织、造纸、自来水等行业需用系数可达80%~90%，负荷率约为70%~80%；冶炼、化工等行业需用系数可达70%~80%，负荷率可超过90%。中压配电电压受电、容量在160 kVA以上的工业用户，功率因数标准是0.9，低压配电电压受电、容量在100 kVA以上的工业用户是0.85。

六、农业灌溉

用电设备主要是电动机带动的水泵，需用系数可达80%~100%，月负荷率最高可达70%~80%，最低可为0，年负荷率很低，约为15%~20%左右，同时率约为0.9~0.65。

第二节 各种不同性质的负荷

一、单相负荷、三相负荷、不平衡负荷

负荷最好是正弦波形三相平衡负荷，但除三相电动机等外，照明、家用电器实际都是相电压 220V 的单相负荷，而电焊机、X 光相机都是线电压 380 V 的单相负荷。接单相负荷，要尽量做到三相负荷平衡。尤其是因为我们的配电变压器绝大部分是 Y, yn0 接线，这点就更重要。规程规定 Y, yn0 接线配电变压器的不平衡负荷应限制在额定单相设备容量的 25% 以下，但运行经验说明，最好限制在 15% 以下。

二、冲击性负荷

除电动机的起动电流外，电弧炉、感应电炉、滚轧机、大型卷扬机、各种弧焊机以及较大型试验用电都能引起电压骤降，电流、电压波形畸变，电压偏移增大。目前我国对电压骤降尚未制定具体标准，一般在负荷侧加装串联电抗器或晶体闸流管控制的并联电容器，同时也可在电源侧加大配电变压器的容量，敷设专用线路，装设专用配电变压器，增加串联电容器或提高三相短路容量来限制或防止电压骤降。

表 1-1 电网相电压正弦波形畸变率极限值

用户供电电压 (kV)	总电压正弦波形 畸变率极限值 (%)	各奇、偶次谐波电压 正弦波形畸变率极限值 (%)	
		奇次	偶次
		0.38	5
6 或 10	4	3	1.75
35 或 63	3	2	1
110	1.5	1	0.5

三、畸变性负荷

整流设备如老式的汞弧整流器、新式的可控硅整流器、可控硅调压器、可控硅调速器，非线性用电设备如电弧炉、感应电炉、交流弧焊机、饱和电抗器等都是高次谐波源，都能引起电流、电压正弦波形的畸变，加大电压偏移。谐波能引起静电电容器在某一特定频率发生调谐而过负荷，系统电容与变压器等的电抗发生共振

等。零序谐波电流的存在对通讯线路、广播、电视会产生干扰。三倍频谐波或过量励磁电流会引起角接变压器绕组过负荷。波形畸变会引起控制设备的误动作、计量设备的不正确等等。1984 年原水利电力部颁发的《电力系统谐波管理暂行规定》规定了电网相电压正弦波形畸变率的极限值和用户注入电网的谐波电流允许值(等效值, A), 见表 1-1、表 1-2。

表 1-2 用户注入电网的谐波电流允许值

用户供电电压 (kV)	谐波次数及谐波电流允许值 (等效值, A)																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0.38	53	38	27	61	13	43	9.5	8.4	7.6	21	6.3	18	5.4	5.1	7.1	6.7	
6 或 10	14	10	7.2	12	4.8	8.2	3.6	3.2	4.3	7.9	2.4	6.7	2.1	2.9	2.7	2.5	
35 或 63	5.4	3.6	2.7	4.3	2.1	3.1	1.6	1.2	1.1	2.9	1.1	2.5	1.5	0.7	0.7	1.3	
110 及以上	4.9	3.9	3	4	2	2.8	1.2	1.1	1	2.7	1	3	1.4	1.3	1.2	1.2	

注 18、19 次谐波电流允许值从略。

四、不能停电的负荷

如果停电将造成人身伤亡、将在经济上造成重大损失、政治上造成重大影响、或引起

环境严重污染的负荷，应供给备用保安电源。在系统大面积停电时仍需不间断用电，或自备电源比从电网供给第二电源更为经济合理的负荷，可自行准备发电机等设备作为保安电源。

第三节 负荷预测与计算

一、电量预测方法

1. 年平均增长率法

$$E_t = E_0(1 + i)^{t-t_0} \quad (1-1)$$

式中 i ——所取期限内基期到末期年电量平均增长率；

E_t ——预测年份年电量预测值；

E_0 ——所取期限内基期年电量；

t ——预测年份；

t_0 ——基期年份。

2. 电力弹性系数法

$$E_t = E_0(1 + K_w P_{t-t_0})^{t-t_0} \quad (1-2)$$

$$K_w = \frac{\Delta A\%}{\Delta B\%} \quad (1-3)$$

式中 P_{t-t_0} ——基期到预测年份工农业总产值年平均增长率；

$\Delta A\%$ ——年平均电量总消耗增长率（一般采用发电量）；

$\Delta B\%$ ——年平均国民生产总值增长率（以采用工农业总产值为宜）。

世界工业先进国家和我国的电力弹性系数见表 1-3。

表 1-3 世界工业先进国家和我国的电力弹性系数

年份 国别	1951~1980	其中			1981~1987
		1951~1960	1961~1970	1971~1980	
美国	1.84	2.31	1.87	1.26	0.51
前苏联	1.27	1.26	1.36	1.16	
日本	1.24	1.57	1.13	1.01	
前西德	1.41	1.25	1.58	1.51	
法国	1.49	1.77	1.21	1.59	
中国	1.73	2.24	1.66	1.22	
世界(平均)			1.26	1.17	

3. 综合单耗法

$$E_t = NT_i \quad (1-4)$$

$$N = \frac{\sum N_i}{n} \quad (1-5)$$

式中 N ——综合单耗；

$\sum N_i$ ——各年综合单耗；

n ——所取年数；

T_i ——预测年份年产量（或年产值）预测值。

二、负荷预测

1. 根据年需电量求最大负荷

最大负荷 P_{\max} 等于年需电量除以最大负荷利用小时 T_{\max} 。 T_{\max} 等于全年供电量除以最大负荷。

2. 负荷密度法

以各负荷区或负荷小区目前负荷密度已经达到的每平方公里千瓦数，参考城市规划中有关的经济、人口、居民收入水平等分区规划，再与类似城市对比，推算出各负荷区或负荷小区的负荷密度预测值，乘以各自的面积，就可得负荷的预测值。

3. 综合需用系数法

一般综合需用系数取 0.16~0.3，最大负荷 P_{\max} 等于综合需用系数乘以总装机容量。

各类电力用户的最大负荷利用小时 T_{\max} 及损耗小时 τ 值见表 1-4。

表 1-4 各类电力用户的 T_{\max} 及 τ 值

企业种类	T_{\max} (h)	当 $\cos\varphi$ 为下列值时 相应的 τ 值 (h)		企业种类	T_{\max} (h)	当 $\cos\varphi$ 为下列值时 相应的 τ 值 (h)	
		0.9	0.95			0.9	0.95
		煤炭工业	4000~5500			2400~3950	2200~3750
石油工业	6500~7000	5100~5800	5000~5700	其他工业	4000	2400	2200
黑色金属采选	4000~6500	2400~5100	2200~5000	交通运输	3000	1600	1400
钢铁联合企业	4500~7000	2900~5800	2700~5700	电气化铁道	6000	4500	4350
有色、化工采选	5000~6500	3400~5100	3200~5000	城市生活用电	2500	1250	1100
有色金属冶炼	7500	6550	6500	上下水道	5500	3950	3750
电解铝工业	8000	7350	7310	农村工业	3500	2000	1800
机械、电器制造	2000~5000	1000~3400	800~3200	农村照明	1500		
化学工业	6000~7000	4500~5800	4350~5700	农副加工	2000		
建材工业	4000~6500	2400~5100	2200~5000	电 灌	1300~1500		
造纸工业	6000~6500	4500~5100	4350~5000	农村综合	1800~2500		
纺织工业	5000~6000	3400~4500	3200~4350				

三、负荷计算

1. 排灌负荷

某县属平丘区，排灌不多，主要是电灌（排灌用电量占农用用电量的 40%）。就某处电灌站而言，电灌负荷为

$$P = 9.81 \frac{QH}{y} \text{ (kW)} \quad (1-6)$$

式中 P ——电灌负荷，kW；

Q ——水的流量， m^3/s ；

H ——总扬程，m；

y ——水泵、电动机和机械传动装置的总效率，对水泵取 0.6~0.7。

求得 P 的数值后, 选择标准型号的水泵并配用电动机, 此电动机的容量就是设备容量 P 。而就某一地区而言, 总电灌负荷为

$$P_{\Sigma} = KK'P \quad (1-7)$$

式中 K ——负载率取 0.8;

K' ——同时率取 0.6~0.8。

根据某乡调查, 有耕地 13352 亩, 安装电灌设备容量 992 kW, 负载率 $K=0.8$, 同时率 $K'=0.8$, 需要电灌负荷为

$$P_{\Sigma} = KK'P = 0.8 \times 0.8 \times 992 = 635 \text{ (kW)}$$

平均每千瓦灌田为 $13352/635=21$ (亩)。

电排负荷一般与电灌负荷错开使用, 不另计算。

2. 农副产品加工负荷

某县农副产品加工主要有碾米、粉碎、磨面、榨糖、榨油、磨粉、磨豆、制茶等, 全县共有装机容量 4648 kW, 占农用容量的 34%。一般农副产品加工厂同时率为 0.4~0.6, 负载率为 0.8, 试计算该县农副加工负荷。

$$P_{\Sigma} = KK'P = 0.8 \times 0.6 \times 4648 = 2231.04 \text{ (kW)}$$

3. 县乡工业负荷

某县乡办工业, 主要有农机修配、农副加工、瓷器生产等用电。

县办工业有机械、造纸、瓷器、水泥、化肥、采矿、制药、塑料等工业用电, 装机容量共 27374 kW, 占全县总容量的 66.7%, 1981 年县乡工业用电量 2870 万 kW·h, 占全县总用电量 78.6%。县乡工业负荷, 一般采用需用系数法和产品单耗电量法计算。

(1) 需用系数法, 即将各类设备的需用系数乘以设备总容量得计算负荷。

各类设备的需用系数及功率因数见表 1-5。

表 1-5 需用系数值 (K_{Zr})

用电设备名称	K_{Zr}	$\cos\varphi$	用电设备名称	K_{Zr}	$\cos\varphi$
造纸机	0.4	0.7	农副产品加工	0.3~0.48	0.65
机床	0.2	0.65	照明	0.8	
泵、鼓风机、压缩机、破碎机、	0.8	0.8	大米厂机械	0.7	0.75
筛选机、电阻炉			卷扬机	0.5	0.8
电焊变压器	0.35	0.35	球磨机	0.72	0.8
纺织机械	0.5	0.7	农机修配	0.2	0.6
化肥生产设备		0.9			

(2) 产品单耗电量法, 根据产品单耗和年产量求出年耗电量, 再除以年最大负荷利用小时得计算负荷。

$$P = \frac{\text{年耗电量}}{T_{\max}} = \frac{\text{产量单耗电量} \times \text{年产量}}{T_{\max}} \quad (1-8)$$

各类用户电量单耗见表 1-6。

4. 日常生活用电

表 1-6

电力用户电量单耗统计表

用电负荷名称	电量单耗	用电负荷名称	电量单耗
电 解 铝	20000 kW·h/t	机 制 纸	790 kW·h/t
冶金电炉钢	700 kW·h/t	大 米	20.2 kW·h/t
原 煤	40.63 kW·h/t	面 粉	48 kW·h/t
电 石	3650 kW·h/t	自 来 水	296 kW·h/t
合成氨 (小型)	1600 kW·h/t	水泥 (立窑)	82.11 kW·h/t
日 用 瓷	1369 kW·h/万件	原油加工	55.117 kW·h/t
棉 纱	1586 kW·h/t	矽 铁	950 kW·h/t
棉 布	14 kW·h/m	耐 火 砖	147 kW·h/t
烧 碱	2450 kW·h/t	刨 花 板	240 kW·h/m ²
氯 酸 钾	7835 kW·h/t	糖	364 kW·h/t
锰 粉	185 kW·h/t	啤 酒	920 kW·h/t

某县有照明负荷装见容量为 1179 kW, 照明负荷的负载率 $K=1$, 同时率 $K'=0.8$, 试求计算负荷。

$$P = KK' \times 1179 = 1 \times 0.8 \times 1179 = 943.2 \text{ (kW)}$$

随着农村生活水平的提高, 收音、电视、广播用电日益增多, 空调、电炊等家电也越来越被广泛使用, 其计算负荷按设备额定容量乘以同时率 ($K'=0.8$) 即可得出。

农村乡村工业往往采取一班制生产, 因而照明用电负荷与工业负荷是错开的。

5. 农村电力网有功负荷计算

(1) 同时率与网损率见表 1-7、表 1-8。

表 1-7 各类设备的同时率

名 称	同时率	名 称	同时率
排 渍	0.9	生活照明	0.8
灌 溉	0.6~0.8	35 kV 变电站	0.8~0.9
农副产品加工	0.4~0.6	6~10 kV 农用线路	0.3~0.4
6~10 kV 配变	0.3~0.9	6~10 kV 工业线路	0.5~0.6

表 1-8 各级农用电网网损率

名 称	网损率	备 注
0.38 kV 线路	1~4	配电房装总表 只有 1%
6~10 kV 线路及变压器	6~12	
35 kV 线路及主变	6~10	
110 kV 线路及主变	5~10	

注 以各级电网最大负荷作基准的百分数表示。

(2) 供电负荷计算。供电负荷是指一个变电站或某一电力网的综合最大负荷, 考虑了有功功率损失和负荷错开情况。计算公式如下

$$P = \sum_{i=1}^n P_i K' (1 + K'') \text{ (kW)} \quad (1-9)$$

式中 $\sum_{i=1}^n P_i$ —— n 个用户 (或变电站) 各自最大负荷的算术和, kW;

K' —— 同时率;

K'' —— 网损率。

【例 1-1】 某 35 kV 变电站出 10 kV 线 4 条, 各线最大负荷分别为: 1100、500、1500、600 kW, 同时率为 0.8, 网损率为 0.12, 试问该变电站应配多大主变适合?

解：
$$\sum_{i=1}^n P_i = 1100 + 500 + 1500 + 600 = 3700 \text{ (kW)}$$

$$P = \sum_{i=1}^n K'(1 + K'') = 3700 \times 0.8 \times (1 + 0.12) = 3315.2 \text{ (kW)}$$

主变视在功率

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}$$

当 $\cos\varphi=0.8$ 时

$$S = \frac{3315.2}{0.8} = 4144 \text{ (kVA)}$$

一般 35 kV 变电站按 2 台同容量或一大一小考虑，以便轻载时停运 1 台。配置设备容量应考虑 5 年内的发展情况，因而该变电站选择两台 2400 kVA 的主变较为适合。

第二章 配电网规划与设计

第一节 配电网规划、设计特点

中、低压配电网绝大部分都在城乡范围以内，而且基本可以认为是均匀分布负荷，因此中压配电网必须先有规划，根据供电区域内的负荷密度分布预测负荷，确定中压变电站的位置、容量、供电范围，以及中压配电线路主干线（习惯叫中压配电网的网架）的供电半径、走向位置、导线截面和分支线的导线截面。

主干线包括绝大部分的干线和部分分支线。中压配电网规划是城市和农村总体规划的组成部分。规划批准以后，所有大修、更改、业务扩充工程的设计，只要涉及这些主干线，都要按主干线的标准和要求设计，分支线也要按规定的导线截面设计，以期逐步实现中压配电网的规划。

低压配电网的发展也要有个规划，根据负荷密度预测确定每平方公里面积内低压变电站的数量、容量和低压配电线路的供电半径和导线截面。

配电网的设计和规划要做到安全与经济的统一。应保证有充足的供电能力，以满足供电可靠性和运行经济性的要求，并应考虑环境保护和标准化等方面的要求。需要指出的是，在设计、规划中，除了选择好接线方式外，主要是导线截面和供电半径的选择。

一、导线截面

选择导线截面除了应满足允许电压降和最大发热电流的要求外，还必须尽量使线路年度运行费用为最小，以达到经济上最合理的要求。年度运行费用包括资金费用和电能损耗费用两个部分。其中资金费用包括线路投资的合理利润、基本折旧和大修理费。目前我国规定的基本折旧率，中压配电线路是 3.96%；大修理基金率是 1.4%；合理利润率是复利 10%，若不按复利计算，每千元投资折合的年度资金费用为 153.6 元。电能年损耗费用等于最大负荷时的电流的平方数乘上线路电阻，再乘以 8760h 和损耗系数，再乘以每千瓦小时电能的电价后除以 1000。由此可见，电能损耗与导线截面成反比，而线路投资则随导线

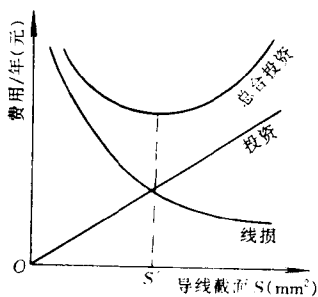


图 2-1 导线截面和年运行费用关系曲线图

截面的增加而相应地增加，图 2-1 所示曲线表示的就是导线截面和年度运行费用的相互关系，投资费用和线损费用两条曲线相加后所得的曲线是总合费用曲线，其最低点所对应的导线截面 S' 就是最经济导线截面。

从理论上说，不同电压等级、不同线路结构（如架空线和电缆、水泥杆和铁塔、双回路与单回路）、不同负荷情况的线路的最经济导线截面都不一样，需要分别计算。另外，负荷的大小年年月月都有变化，因此计算某一条线路的经济截面是比较复杂的。一般常用的办法是，首先按负荷预测得出在规划考虑年限内的最大负荷电流（规划考虑年限按城网规划设计导则规定为 20~25 年），然后根据最

大负荷电流，在满足允许电压降和最大发热电流的条件下，求出最小允许导线截面，最后再根据最大负荷利用小时数，用规定的经济电流密度的方法来选定导线截面。可是，目前中压配电线路经济电流密度，我国还没有统一的规定，可供参考的是 50 年代国家公布的经济电流密度，详见表 2-1。

表 2-1 经济电流密度 (A/mm²)

导体材料	最大负荷利用小时数 (h)		
	不足 3000	3000~5000	超过 5000
铜裸导线和母线	3.0	2.25	1.75
铝裸导线和母线	1.65	1.15	0.9
铜芯电缆	2.5	2.25	2.0
铝芯电缆	1.92	1.73	1.54

由于材料价格和发电成本的变动，对于 10 kV 架空线路来说，表 2-1 的铝裸导线和母线的经济电流密度已偏高，对 10 kV 电缆线路来说，表 2-1 的经济电流密度已接近或超过允许发热电流，因此选择导线截面可按最大发热电流和允许短路电流来确定。

除了上述方法决定导线截面外，还必须考虑配电网的标准化、灵活性和供电可靠性，

对于城市中压配电网的主干线的导线截面，在采用铝导线时，应在 240、185、150、120、95 mm² 五种规格中选用一种或两种，分支线也应尽量减少选用导线截面的种类，以利维护和发展。

二、中压配电线路供电半径

从理论上分析，在满足供电质量和导线发热等技术条件下，导线截面可以变动，相应的供电半径也可变动。但从经济上分析，中压配电线路的投资随供电半径的增大而增加，如图 2-2 中曲线 1。这是因为供电半径越大，导线截面要越大，投资也就越大，曲线是上升的。而中压变电站的投资则随供电半径的增大而减少，见曲线 2。这是因为供电半径越大，同一地区的中压变电站数可减少，投资也就越小，曲线呈下降。把一个地区内中压配电线路的投资和中压变电站的投资相加，就得到这一地区中压配电系统的总投资，见曲线 3。这条曲线的最低点所对应的供电半径 r_0 就是经济供电半径。

按照经济供电半径建设中压配电系统，总投资将是最小；而理论计算表明，电网的建设投资最小时，年度运行费用也接近最小值。

计算经济供电半径的公式是

$$r = \frac{\sqrt{K}}{2} \frac{1}{\sqrt[3]{\sigma}} \quad (2-1)$$

$$P = K \sqrt[3]{\sigma} \quad (2-2)$$

式中 r ——中压配电线路经济供电半径，km；

P ——中压变电站经济容量，kVA；

K ——与中压配电线路及中压变电站建设投资有关的系数；

σ ——地区负荷密度，kW/km²。

根据经验，大中城市中压配电系统架空线路计算用的常数 K 是 2800，经济供电半径见表 2-2。各单位应根据各自中压配电系统的条件计算出架空线路、电缆线路的常数 K ，并据以算出各自的经济供电半径。

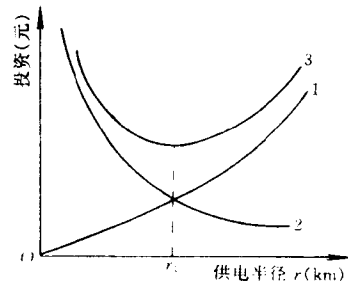


图 2-2 中压配电线路供电半径与投资的关系曲线图
1—中压配电线路的投资；2—中压变电站的投资；3—综合投资

表 2-2 中压配电系统的经济供电半径

负荷密度 (kW/km ²)	经济供电 半 径 (km)	中 压 变 电 站 容 量 (kVA)	中压配电线路导线截面 (八回出线) (mm ²)
1250	2.45	30140	8×185
2500	1.95	38000	8×240
5000	1.54	47900	8×300*
10000	1.23	60300	8×400*

* 负荷密度 5000 kW/km² 以上时, 出线肯定超过八回, 铝导线截面一般不会超过 240 mm²。

从式 (2-1)、式 (2-2) 和表 2-2 可以看出, 中压配电系统的经济供电半径是与负荷密度有关的变量, 负荷大的地区, 供电半径要小些, 负荷小的地区, 供电半径要大些。

上述讨论说明, 选择中压配电线路的经济供电半径实际是合理选择中压变电站的位置和相互距离。

三、环境要求

中压配电线路穿行在城乡广大范围内的

的街道上, 必须充分注意安全可靠和环境协调。

1. 安全可靠

中压配电线路的各种元件必须有较高的安全性, 即使发生事故也不致造成人员伤亡和大量设备财产损失。

(1) 采用三相三线不接地系统, 使中压配电线路发生接地后, 地面上不致出现危险的接触电压和跨步电压, 也不致对通讯和其他弱电线路产生严重干扰。

(2) 采用较高的元件安全系数, 一般都在 3 以上。

(3) 尽量采取缩短继电保护的動作时间、限制短路容量、增大导线截面等措施使中压配电线路发生短路故障时, 导线不致被电弧烧断, 落地造成危害。

2. 环境协调

在外观上, 中压配电线路本身应美观大方, 与周围环境协调。例如采用钢管做电杆, 外表涂上与周围建筑协调的颜色; 大城市中心区采用电缆; 禁止采用充油柱上开关; 部分低压变电站采用箱式低压变电站、拱顶地下低压变电站等。为减少架空线路与无轨电车及绿化间的矛盾, 中压配电线路采用较高电杆或绝缘导线。

在防火上, 要求也逐步提高, 特别是对装设在建筑物内的低压变电站要求更高, 例如采用干式变压器、气体绝缘变压器、真空开关、气体开关等。

为防止噪音, 在配电变压器外壳和配电变压器室内壁上装置泡沫塑料吸音材料, 已在实际工程中采用。

总之, 随着人民生活水平的提高, 城市对中压配电线路的要求也愈来愈高, 除施工应做到整齐美观外, 元件结构也必须逐步改进, 以适应发展需要。

四、标准化

配电网总是在不断地发展和扩充。实践证明, 配电网发展必须有一个统一的规划和标准。中压配电系统的标准, 一般包括: 电压等级; 中压变电站主变压器的容量和台数; 10kV 母线接线方式和出线回数; 设备的额定电流和短路容量; 中压配电线路导线截面; 导线排列型式; 所用材料规范等。

10 kV 侧出线设备额定电流一般可定为 400~600 A, 即每回所带负荷 7000 kVA 或 10000 kVA。短路容量应限制在 300 MVA 以下。农村中压变电站由于负荷较小, 可另订标准。

标准化后,电网发展才能有规划,有明确方向和长远目标,才能在发展中保持经济、可靠、灵活,成为现代化电网。

第二节 配电网的接线方式

一、架空线路

中压配电网的接线方式,架空线路主要有放射式、普通环式、拉手环式、双路放射式、双路拉手环式等五种。

1. 放射式

放射式结构见图 2-3,线路末端没有其他能够联络的电源。这种中压配电网结构简单,投资较小,维护方便,但是供电可靠性较低,只适合于农村、乡镇和小城市采用。

2. 普通环式

普通环式接线是在同一个中压变电站的供电范围内,把不同的两回中压配电线路的末端或中部连接起来构成环式网络,见图 2-4。当中压变电站 10kV 侧采用单母线分段时,两回线路最好分别来自不同的母线段,这样只有中压变电站全停时,才会影响用户用电,而当其中压变电站一母线段停电检修时,用户可以不停电。这种配电网结构,投资比放射式要高些,但配电线路停电检修可以分段进行,停电范围要小的多。用户年平均停电小时数可以比放射式小些,适合于大中城市边缘,小城市、乡镇也可采用。

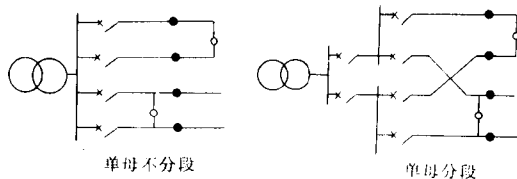


图 2-4 普通环式供电接线原理图

是安装油浸、真空、产气、吹气等各种型式的开关)形成的各个分段中的任何一个分段停电时,都可以不影响其他各分段的供电。因此,配电线路停电检修时,可以分段进行,缩小停电范围,缩短停电时间;中压变电站全停电时,配电线路可以全部改由另一端电源供电,不影响用户用电。这种接线方式配电线路本身的投资并不一定比普通环式更高,但中压变电站的备用容量要适当增加,以负担其他中压变电站的负荷。实际经验证明,不管配电网的接线型式如何,一般情况下,中压变电站主变压器都需要留有 30% 的裕度,而这 30% 的裕度对拉手环式接线也已够用。当然,推荐的裕度要更高些,是 40%。

拉手环式接线有两种运行方式,一种是各回主干线都在中间断开,由两端分别供电,如图 2-5 (a) 所示。这样线损较小,配电线路故障停电范围也较小,但在配电网线路开关操作实现远动和自动化前,中压变电站故障或检修时需要留有线路开关的倒闸操作时间。另一种是主干线的断开点设在主干线一端,即由中压变电站线路出口断路器断开,如图 2-5

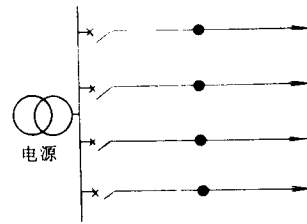


图 2-3 放射式供电接线图

3. 拉手环式

拉手环式的结构见图 2-5。它与放射式的不同点在于每个中压变电站的一回主干线都和另一中压变电站的一回主干线接通,形成一个两端都有电源、环式设计、开式运行的主干线,任何一端都可以供给全线负荷。主干线上由若干分段点(一般