



宋连库 宋有声 编著

架空配电线路的运行与维护

黑龙江科学技术出版社

封面设计：范庆义

架空配电线路的运行与维护

宋连奎 宋有声 编著

黑龙江科学技术出版社出版

（哈尔滨市南岗区分部街28号）

黑龙江新华印刷厂附属厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32·印张 12 4/16·插页 4·字数 250 千

1983 年 7 月第一版·1983 年 7 月第一次印刷

印数：1—37,000

书号：15217·075

定价：1.40元

前 言

随着我国电气化事业的发展，配电网络已进一步完善。因此，要求维护人员对电网的运行维护水平应有相应的提高，以充分保证电网的安全供电。为了帮助运行维护人员更好地了解掌握架空配电线路的基本理论、运行方式、及日常维护等方面的内容，我们收集了有关资料，根据多年工作实践经验，编写了此书。

全书共分八章。书中对配电网络的结构及经济供电、架空配电线路元件的选择与运行、架空配电线路中导线截面的选择、配电变压器的容量及安装、线路中的线损及降损措施，以及配电设备的防雷和接地等方面的内容，都作了较详细的介绍。

本书第一章由黄德俊同志审核，其余各章由方朝旭同志审核。另外，在本书的编写过程中，四平电业局有关领导及丁振亚、姜其元、王国光、袁宝善等同志都给予了热情的帮助和支持，在此一并致谢。

由于编著者的水平所限，书中错误在所难免，恳请广大读者给予批评指正。

编著者 一九八二年

目 录

第一章 概述	1
第二章 配电网络的结构及经济供电	11
第一节 配电网络的结构	11
第二节 高压线路的布置	15
第三节 配电网络的经济运行	23
第三章 架空配电线路的元件选择与运行	45
第一节 电杆的选择	45
第二节 线间距离及横担规格	67
第三节 导线的弛度、应力计算	79
第四节 拉线	94
第五节 绝缘子的选择	108
第六节 路灯的安装与控制	120
第七节 高压线路的运行与维护	129
第四章 导线截面积的选择	149
第一节 按电压降选择导线截面积	149
第二节 按经济电流密度选择	161
第三节 按导线发热条件选择	165
第四节 按机械强度校验	172
第五章 配电变压器的容量及安装接线	173
第一节 变压器的容量选择	173
第二节 安装位置的选择	174
第三节 变台装置接线及横梁选择	183
第四节 变压器的保护装置	193

第五节 变压器改结线.....	198
第六章 配电变压器的运行.....	205
第一节 变压器的铭板参数.....	205
第二节 变压器并列运行.....	210
第三节 变压器接线.....	221
第四节 变压器的故障分析.....	241
第五节 变压器自动有载调压.....	256
第六节 配电变压器的运行和管理.....	277
第七章 线损及降损措施.....	309
第一节 概述.....	309
第二节 不同供电形式的线路损失.....	311
第三节 几种降损措施.....	317
第八章 配电设备的防雷和接地.....	338
第一节 雷电的形式及防雷措施.....	338
第二节 避雷器及羊角间隙.....	347
第三节 接地装置.....	357
附录	
附录 1 各企业全厂总需要系数.....	371
附录 2 单相变压器熔丝容量表.....	373
附录 3 三相变压器熔丝容量表.....	374
附录 4 变压器特性表.....	376
附录 5 上海变压器厂 10 千伏级低损耗三相变 压器损耗对比.....	379
附录 6 典型气象条件.....	381
附录 7 普通炭素钢的屈折系数.....	383
参考文献.....	385

第一章 概 述

电力网是由变电站及各种不同电压等级的线路组成的，所以，城市配电网也是电力网的一部分。

除热电厂外，其它电厂都是建在燃料的产地或水利资源适宜的地方。因此，电厂距城市可能很远。尽管如此，由输电线路传输电能，也比用交通工具运输燃料便宜得多。一般发电机发出的电压都在 22 千伏以下，由于传输过程中电能的损耗，要把这样低电压的电能，输送到数百公里外是不可能的。因此，必须经过升压变压器将电压升至 110 千伏以上，甚至升至 500 千伏以上。这样高电压的电能送到预定地点后，再经降压变压器将电压降至 6~35 千伏，作为城市高压配电网的电压等级。然后再降压至 380/220 伏，供市区的工业及生活用电。个别用户装有高压电机，电压等级多为 3 千伏或 6 千伏，也有 10 千伏的。从发电机到用户的整套设备及过程，称为电力系统（图 1—1）。

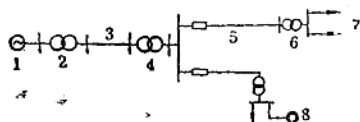


图 1—1 电力系统

1. 发电机；2. 升压变压器；3. 输电线路；4. 降压变压器；5. 配电线路；
6. 配电变压器；7. 低压线路；8. 低压电器

按照供电部门的专业分工，配电专业的管辖范围是由降压变电站或发电厂配出线的穿墙套管外口至用户入口（不包括室内设备）。因此，配电专业人员直接服务在广大用户的周围，是供电部门连接用户的纽带。为用户服务包括两方面的内容。一是宣传安全用电常识。对用户侧的低压回路故障及时修理；二是保证施工质量，向用户提供合乎标准的电能，认真维护设备，保证广大用户安全用电。

配电网络的构成，按照敷设方式可以分为两种：一种是将导线用绝缘子与大地绝缘，架设在各种不同型式的支架上，这些支架称为杆塔。杆塔的种类繁多，详见第三章。按照这种方式架设的线路，称为架空线路；另一种则为敷设在地下隧道或直接埋在地下的电缆，这种线路称为电缆线路。

架空线路的建设成本较电缆线路便宜。以10千伏LGJ—70架空线路与ZLQ₂—70电缆线路、35千伏LGJ—70架空线路与ZQF₂₀—70电缆线路相比较，投资倍数分别为2.63及5.24。所以，目前我国绝大多数城市的配电网络均采用架空线路，而电缆线路仅在某些大城市及某些重要用户或特殊需要之处采用。就其特点而言，架空线路具有成本低廉、实施迅速、使用方便以及故障处理简便等优点，此外，还可兼设街灯，但架空线容易受外界影响而发生故障，而且繁华的城市架线太多也影响市容。电缆线路埋设在地下，一般不因外界影响而发生故障，也不影响市容。但其成本高昂、实施缓慢、故障处理也比较麻烦。

城市配电网的敷设，是一项技术及规划性非常强的工作。在规划上应该是远期及近期发展统一安排。所谓统一安

排，即是变电站厂址、线路走廊的预留和网架的构成规模等均应统一考虑。远期需考虑15~20年内负荷发展的需要，近期要考虑3~5年内负荷的发展情况。此外，还要考虑充分利用现有的线路加以改造。由于负荷的迅速增高，变电站设在城外，利用配电线再把电能送至城里的办法已日趋不妥了，因此必须将高压输电线路引进城里，降压后再送给用户。这种引进无论是采用架空线路，还是用电缆线路，均需尽早地作出规划，取得城建部门的统一安排，留出线路走廊。许多工业较为发达的国家，从60年代起就已经着手改造城市电网。他们的做法是：采用380千伏或500千伏以上电压线路，作为城市的外环，将各发电厂送来的电源线路接在外环上，然后用110~275千伏的线路，将电能送至城里，经降压后再送给用户。

目前配电网的电压等级国家标准是10千伏，低压380/220伏。但实际上还有一些非标准电压（如3千伏、6千伏）尚需改造。现在国外许多国家已经采用了较高的电压等级，如英国采用33千伏，法国采用20千伏，日本采用22千伏，美国采用22~34.5千伏，菲律宾也改用了20千伏供电。我国的某些城市（安徽省当涂县等也采用了35千伏供电）。20至35千伏这两个等级，在输送容量、电压质量、供电半径、电能损耗及节约有色金属等均优于3~10千伏。

不同电压等级的线路，在输送容量相等，其它参数可比条件下，以6千伏为基准，作一比较（见表1-1），

从表1-1中明显的看出，供电网络的电压愈高，其优越性愈显著。大城市以20~35千伏供电尤为必要。

表 1—1

不同电压等级的参数比较

输送功率	电压损耗	电能损耗	有色金属消耗	供电半径
$P_s = 0.6P_{10}$	$\Delta U_s = 1.67\Delta U_{10}$	$\Delta A_s = 2.78\Delta A_{10}$	$S_s = 2.78S_{10}$	$R_s = 0.59R_{10}$
$P_s = 0.3P_{10}$	$\Delta U_s = 3.33\Delta U_{10}$	$\Delta A_s = 11.1\Delta A_{10}$	$S_s = 11.1S_{10}$	$R_s = 0.27R_{10}$
$P_s = 0.17R_{10}$	$\Delta U_s = 5.83\Delta U_{10}$	$\Delta A_s = 34\Delta A_{10}$	$S_s = 34S_{10}$	$R_s = 0.17R_{10}$

低压网络，一般均采用三相四线式供电，这种供电方式使用三根火线，可供 380 伏动力用电，用其中一根火线和零线，可供 220 伏电灯及单相家用电器用电。供电方式如图 1—2 所示。

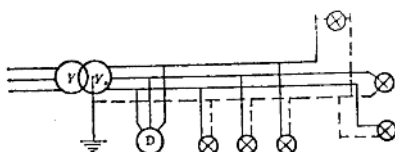


图 1—2 三相四线式电路

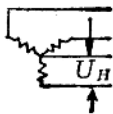
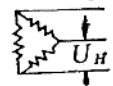
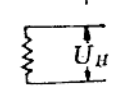
380 伏这个电压等级，几乎是世界各国通用。个别国家还有用 415 伏及 220 伏的。

在低压网络中以 380/220 伏三相四线制供电最为优越。下面以三相四线制为基准，以几种不同供电方式的电流、压降、功率损耗及有色金属消耗情况，作理论上的比较，如表 1—2 所示。

单相回路一般只是用在分支电路中，因负荷分散、三相四线制回路中各相的负荷，要求做到基本上平衡。否则将会引

表 1—2

不同供电方式的理论比较

供电方式	负荷、导线型号、输送距离均相同			压降相等 时有色金 属消耗量	注
	线 电 流	压 降	功率损耗		
	1.00		1.00	1.00	零线截面为相线的 1/2
	1.73		3.00	2.57	
	3.00		6.00	3.43	零线与相线截面相同

起各相电压不等，加剧压降和功率损耗。

在电力系统中，负荷在不断地变化，所以导致各点的电压也相适应地变化。最大负荷与最小负荷时各点电压的变动范围称为电压偏移。一般以额定电压为基准的百分数来表示。我国规定的允许电压偏移为：10~35 千伏，及 10~35 千伏以上电压供电质量有特殊要求的用户为 $\pm 5\%$ ；低压照明用户为 $+5\%$ ， -10% 。

“农村供电规划导则”中规定：在正常情况下，电压允许在 $-10\% \sim +7.5\%$ 范围内变动；在故障情况下，电压允许在 $-15\% \sim +10\%$ 范围内变动。

我国的电压等级繁多，有些是沿袭下来的，从 0.11 千伏至 500 千伏之间约有 15 个等级。如：0.11、0.22、0.4、3、6、10、22、35、44、66、110、154、220、330 及 500 千伏等。目前，国外已经着手简化电压等级，许多国家简化成包

括 0.4 千伏在内的 4~5 个等级,就达到了目前的最高电压。这样不但简化了设备、连网方便,而且还减少了备品配件的数量。由变压器的特性表中可知,铜损与铁损之和,约占额定容量的 1%,加上其本身用电及其它设备的损失,每经一次降压就要损失有功功率 2% 左右。另外,少占用土地,减少工作人员,也减少了事故的机率。由此看出了减少电压层次的优越性。

在安全准则上,采用了 $n-1$ 的原则,即所有供电元件(发电机、变压器、线路)失去一台(条)时,均可由其它设备转供,而不影响用户生产。这个观点是建立在保证用户连续用电的基础之上的,也是科学的。关于规划中采用的安全准则,许多国家采用或然率法,但具体标准不大一致。澳大利亚、加拿大规定不能满足用电负荷的或然率为 10 年间有一天;爱尔兰为每 15 年有一天;美国宾夕法尼亚—新泽西—马里兰系统和日本,分别为每年有 0.1 天及 0.1~0.3 天不能满足用电负荷;罗马尼亚、丹麦和瑞典规定不能满足用电负荷的或然率不超过万分之一。尽管这些国家的标准很不统一,但供电的可靠程度是相当高的。

由于城建部门的规划,一般城市都分为工业区、化工区、商业区、文化区及生活区等区域。在各种区域中由于用户分布的形式不同,因此在配电线路的负荷分布上,也形成了各种不同的型式。负荷分布的型式直接影响线路的运行参数(负荷分布的数据如表 1—3 所示),在市区内有许多街巷,因而布置线路要作周密而充分的考虑。

配电工作中常遇到的指标性参数有:

表 1-3

负荷分布的参数

负荷分布名称	负荷分布图	干线上负荷变化	总负荷矩	负荷分散因数*	功率损耗因数 $K (I^2R)$
1. 集中负荷 (动力)			Pl	1.0	$K = 8$
2. 均布负荷 (照明)			$\frac{1}{2}Pl$	$\frac{1}{3}$	$K = 1$
3. 头重尾轻 (辐射型) $ni = 0.5$			$\frac{1}{3}Pl$	$\frac{1}{5}$	$K = \frac{3}{5}$
4. 头轻尾重 (辐射型) $ni = 1$			$\frac{2}{3}Pl$	$\frac{8}{15}$	$K = \frac{8}{5}$
5. 等腰三角形 (辐射型) $ni = 2$			$\frac{1}{2}Pl$	$\frac{28}{65}$	$K = \frac{28}{20}$
6. 菱形 (辐射型) $ni = \infty$			$\frac{1}{2}Pl$	—	—
7. 头重尾轻加集中			$\frac{4}{3}Pl$	$3 + 4\frac{I_1^2}{I_2^2} + 8\frac{I_2^2}{I_1^2}$ $= (1 \sim 0.2)$	—

※为与负荷分布状态有关的因数(分段计算线损时,每段的负荷分散不一,当用首端电流计算线损时,数值过大,所以应用负荷分散因数修正)

变压器利用率 A 指变压器实际最大负荷 P_{max} 与额定容量 P_H 之比的百分数,

$$A = \frac{P_{max}}{P_H} \times 100 \quad (1-1)$$

负荷的不平衡度 β 指三相中最大相的电流 I_{max} 与三相电流的平均值 I_{cp} 之差, 再除以 I_{cp} 的百分数,

$$\beta = \frac{I_{max} - I_{cp}}{I_{cp}} \times 100 \quad (1-2)$$

线损率 C 指线路总的电量损失 ΔA 与供电量 ΔA_0 之比的百分数,

$$C = \frac{\Delta A}{\Delta A_0} \times 100 \quad (1-3)$$

同时率 D 它是综合负荷曲线的最大值 P_{maxQ} 与构成该线路各用户最高负荷之和 ΣP_{max} 之比的百分数。其值因行业而变化,

$$D = \frac{P_{maxQ}}{\Sigma P_{max}} \times 100 \quad (1-4)$$

受载率 E 指用电设备的实际负荷 P_s 与设备额定容量 P_H 之比的百分数,

$$E = \frac{P_s}{P_H} \times 100 \quad (1-5)$$

负荷率 F 指调查期限内的平均负荷 P_{cp} 与此期限内最大负荷 P_{max} 之比的百分数,

$$F = \frac{P_{cp}}{P_{max}} \times 100 \quad (1-6)$$

电压变动率 ΔU 指变压器出口电压 U_1 与末端电压 U_2 之差, 除以额定电压 U_H 的百分数,

$$\Delta U = \frac{U_1 - U_2}{U_H} \times 100 \quad (1-7)$$

变压器的效率 η 指输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比的百分数,

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (1-8)$$

年负荷最大利用小时 T_{max} 即全年总电量 ΣA 除以年最大实际负荷 P_{max} 所得的小时数,

$$T_{max} = \frac{\Sigma A}{P_{max}} \quad \text{小时} \quad (1-9)$$

城市供电的特点是, 工厂集中、负荷大、生产连续性强、设备利用率高。针对这些特点, 要求配电线路设计合理, 施工质量合乎要求, 特别是导线的连接、杆塔机械强度等必须可靠。所谓可靠有两方面的含意, 首先要保证其具有一定的机械强度, 避免倒杆、断线伤人等。其次是电气方面的要求, 如电压质量、输送能力等要达到标准要求, 传输的负荷电流愈大, 愈要求导线的连接有足够的长度及密实程度, 否则由于接触电阻大, 将会烧断接头而发生事故。对以上各项供电部门要周密地安排停电检修, 尽量减少停电时间。

一般城市中都有化工企业, 该类企业的烟尘、气体, 将污染配电线路的导线和绝缘子, 对设备起着破坏作用。所以, 有条件的地区架线应该避开污染区或埋设地下电缆线。

路，防止因污染而发生事故。避不开的应加强线路的绝缘和对绝缘的管理，定期轮换或增加清扫次数。

架空配电线路因受气候条件及人为因素的影响也常使线路的零部件发生缺陷，或造成倒杆断线，因此供电部门应指派足够数量有经验的工人，作为设备的巡视人员，按电力工业部规定的周期进行设备巡视。在巡视中发现的各类缺陷，应详细的记录，以便有计划地安排检修，重要的缺陷应立即组织处理。另外，维护部门应贮备一定数量的器材以备配电网络偶而发生事故时抢修。

第二章 配电网络的结构及经济供电

第一节 配电网络的结构

城市配电网络的规划，是一项技术性很强又很复杂的工作。因为它不仅要考虑网络布局合理，运行经济、可靠，也要考虑负荷的规划，特别是远景规划。系统短路容量多大。众所周知，系统的短路容量是设备选择的主要因素之一，也就是在规划中，要考虑到所选用的设备，到什么时候才需要更新改造。一般说来，应该兼顾远期和近期的状况，远期规划应着眼于基本原则，即网络的结构、输、变、配电的布置、数量的多少，以及造价等因素。这些因素又涉及到电压级次多少，采用开式网络还是闭式网络，低压采用辐射式网络还是网格式网络。近期规划既要满足近年的需要，合理改造利用现有网络中的某些元件，还要为远景规划创造条件，特别是网架的建设。对资料的搜集、分析、负荷密度、负荷增长速度的规划，这些工作都要经过严肃而认真的对待。都将要花费较大的气力和时间。关于负荷密度的资料，目前尚未见统一标准。仅将搜集到的数据列于表 2—1 作为参考。

电网建设应满足供电的连续性，它取决于电网的结线方式、结构的可靠性以及优良的电压质量，也就是用户侧所应有的电压水平及电压偏移的程度，运行安全、灵活及经济性等等。还应考虑远景发展，不致引起从根本上改造原有的电

表 2—1

负 荷 密 度 (千瓦/平方公里)

地 名	年 份	78	85	2000
上 海		6000	14500	30000
北 京		4400	9000	
武 汉		4400	11400	
长 沙		2250	6150	
沈 阳		1900	4000	11000
吉 林		5111 (79年)	5850	
东 京		30000 (75年)	50000	200000
巴 黎		41000 (72年)		71000

网、防止较长时间停止供电。

要使一座城市供电可靠，仅仅致力于配电网是不够的，必须与电源的供给一并考虑。所以，目前提出了一个新的概念——城市电网。它的含意是，包括供给这座城市的超高压输变电工程及全部配电工程。一个合理可靠的城市电网，大致应如图 2—1 所示的轮廓。国外由 400 千伏至目前最高电压等级的输电线路，作为这座城市的外环。所有由发电厂来的线路都接在外环上，在外环上建一次变电站，把电压降至 110~275 千伏送进城里，在城里设二次变电站，电压降到 10~35 千伏，作为沿街敷设的高压配电线路，以下简称配电线路。由图 2—1 可以看出，配电线路布置成环形网络，开口运行。低压 (380/220 伏) 采用了由多台变压器供电的网格式网络。网格式网络某点短路时，可能将短路点导线烧断，之后消除短路，不致中断电源。高压侧短路时，可能由低压侧供给一部分短路电流，但这要看高低侧的保护水平，假如