

低压电力实用技术

孙成宝

刘福义

主编

 中国水利水电出版社

· 低压电力实用技术

孙成宝 刘福义 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书根据多年来对低压电力网运行管理的实际经验,针对低压电力网络所涉及的有关技术和知识,重点围绕各种低压电力线路、配电装置和动力设备、低压用电计量和照明、电网降损节能、低压电网安全以及触电急救等内容进行了比较系统的介绍。考虑到我国农村电力面广的特点,书中专门就广大农电职工和农村电工所需要的专业知识进行了必要的介绍。

本书可作为从事低压电力运行管理等工作的同志的学习资料,也可供工厂企业的电气工人和技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

低压电力实用技术/孙成宝,刘福义主编. —北京:中国水利水电出版社, 1997

ISBN 7-80124-511-3

I. 低… I. ①孙… ②刘… II. 低电压-电力系统 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 18970 号

书 名	低压电力实用技术
作 者	孙成宝 刘福义 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	北京市金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 26.25 印张 606 千字
版 次	1998 年 3 月第一版 1998 年 3 月北京第一次印刷
印 数	0001—5090 册
定 价	38.00 元

序 言

在国民经济持续、快速、健康发展,人类社会正在迈向 21 世纪的今天,电力工业做为经济发展的基础产业,其基础地位越来越重要,任务也显得更为艰巨。

在整个电力系统中,低压电力网络是其中的一个重要组成部分,它也是电力生产、输送直至分配的最终环节。低压电网建设的好坏、运行管理水平的高低,将直接影响到电力供应是否安全、经济、可靠,关系到电力能否最终得到合理的使用。

我国有着庞大的低压电力网络,尤其是在县及县以下区域,已经形成了世界上规模最大的农村电力网。近些年,随着电力部提出的农村电气化县建设和电力扶贫共富等工程的实施,农村电力建设进入了新的发展时期,农村电力网覆盖着 90% 的国土,担负着为农村经济发展、为农业生产和占全国人口 80% 的农村人口的生活用电服务的任务。

随着用电水平的不断提高,用户对电力供应可靠性的要求也越来越高,而在目前的低压电力网络建设方面还存在着一些问题,如:网络规划设计不正规,存在着线路损耗大、迂回供电现象;低压配电设备选择不尽科学合理、不能很好地起到保护、控制作用;接户线、进户线随意布置,给用电带来安全隐患,也加大了电能损失;低压电网的运行管理比较粗糙,职工队伍的素质亟待提高,等等。因此,在电力事业快速发展时期,不断提高低压电力网络的技术水平、提高广大电力职工和农村电工的技术水平和管理能力,以保证电网安全运行和可靠供电,是摆在我们电力工作者面前的一个重要任务。

《低压电力实用技术》的出版,为低压电力技术方面提供了一本详实的学习资料。这是一本比较全面、系统地介绍有关低压电力常用技术的参考书,该书的主要特点是内容具体、实用,通俗易学,重点面向电力最基层的广大职工和农村电工。该书作者在多年实际工作经验的基础上,收集和借鉴了大量相关资料,以电力技术的规程、规范为依据,力图使本书能成为广大电力职工和农村电工工作、学习的参考工具。我们相信,本书的出版必将受到广大电力职工和农村电工以及厂矿电工的欢迎,并将对我国的低压电力技术水平的提高起到一定的作用。

国家电力公司农电发展局局长 杨洪义

1997 年 7 月 1 日

前 言

为了帮助广大电力职工和农村电工更好地了解和掌握低压配电网络和用电设备的基本理论、运行和日常维护等方面的知识,我们在广泛收集国内、外有关资料和信息的基础上,并结合多年的工作实践,编写了本书。

全书共分十八章,重点对低压电力网、低压网络短路电流计算、低压配电装置、低压架空线路、地埋线路、电缆线路、室内线路、接户进户和量电装置、配电变压器、电动机、照明装置、低压电网的无功补偿和线损计算、低压电网的漏电保护、接地以及触电紧急救护等方面的内容作了详细和系统的介绍。

在编写中,作者本着实用可读的思想,力求内容具体实际,既要使内容有较强的知识性、科学性和针对性,又要尽可能使其浅显易懂,便于广大职工和农村电工的理解和接受。

在本书的编写过程中,我们得到了国家电力公司和全国各有关部门的领导和电力专家的热情指导和大力支持。

我们要特别感谢国家电力公司农村电气化发展局杨洪义局长对本书给以关心和支持,并特为本书作序。

我们还要感谢中国农业大学博士生导师郭喜庆教授和河北省电力局牛治文高级工程师对本书进行全面审阅。

编者的意愿是良好的,希望广大读者能够通过阅读此书,基本掌握低压电网和用电设备等方面的基本理论和运行维护知识,以便能较好地指导实际工作。但是限于作者水平和所从事工作的范围,书中难免会出现一些不恰当或不准确的方面,敬请同行专家和广大读者批评指正,对此,我们表示衷心的感谢。

编 者

1997年6月

目 录

序 言

前 言

第一章 低压电力网概述	1
第一节 低压架空配电网的接线.....	1
第二节 低压电缆配电网的接线.....	2
第三节 低压电网的供电制式.....	4
第四节 低压电网的经济供电半径.....	7
第五节 低压电网允许电压偏移计算	10
第二章 低压网络短路电流计算	14
第一节 低压网络电路元件阻抗的计算	14
第二节 低压网络短路电流计算	29
第三节 短路电流计算实例	34
第三章 低压配电装置	38
第一节 低压配电装置的组成	38
第二节 隔离(刀)开关	39
第三节 熔断器	43
第四节 自动开关	48
第五节 照明、动力配电盘(箱)	55
第六节 低压配电屏	58
第四章 低压架空电力线路	69
第一节 低压线路的结构	69
第二节 低压架空线路的设计	76
第三节 低压架空线路的施工技术	82
第四节 低压架空线路的运行管理和检修	90
第五节 低压架空绝缘线路	93
第五章 地埋电力线路	98
第一节 地埋线的基本知识	98
第二节 地埋线路的规划与设计.....	101
第三节 地埋线路的施工技术.....	113
第四节 地埋线路的运行与维护.....	123
第五节 地埋线路的故障探测与处理.....	126
第六章 低压电缆线路	132

第一节	电缆线路的特点及路径选择	132
第二节	电缆的结构及型号	132
第三节	电缆线路的敷设	134
第四节	低压电缆头的制作与安装	137
第五节	电缆线路运行维护时注意的几个方面	141
第七章	接户进户和量电装置	143
第一节	接户线、套户线、进户线	143
第二节	进户点的选择和进户装置的安装施工技术	144
第三节	量电及配电装置的安装要求	146
第四节	量电及配电装置的施工技术	147
第八章	室内电力线路	152
第一节	室内线路的一般要求	152
第二节	配线方式与导线的选择	154
第三节	导线的连接方法与接头处理	161
第四节	室内配线的操作工艺	165
第五节	车间配电线路	177
第六节	高层建筑的内线工程简介	184
第九章	配电变压器	186
第一节	配电变压器的型号与技术参数	186
第二节	配电变压器容量的选择	188
第三节	配电变压器的安装	196
第四节	配电变压器的保护	201
第五节	配电变压器的运行和故障分析	205
第六节	配电变压器的经济运行	210
第七节	变电所(变压器)经济运行位置的确定	213
第十章	电动机	219
第一节	异步电动机的主要技术参数及特性	219
第二节	电动机的选择	226
第三节	电动机的安装	229
第四节	电动机的起动	233
第五节	电动机的控制	240
第六节	电动机的保护	247
第七节	电动机的运行维护	252
第十一章	照明装置	258
第一节	照明灯具	258
第二节	照明灯具的安装	269
第三节	白炽灯的经济运行原理和方法	273
第四节	荧光灯的经济运行原理和方法	278

目 录

第十二章	低压电网的无功补偿	281
第一节	无功补偿原理及方法.....	281
第二节	低压电容器.....	282
第三节	低压电网无功补偿方式和补偿容量的确定.....	286
第四节	低压电容器组的接线与安装.....	291
第五节	低压电容器组的控制与保护.....	294
第六节	低压电容器组的成套装置.....	295
第七节	低压电容器组的运行管理.....	297
第十三章	低压电网的线损计算	299
第一节	低压配电网线损理论计算.....	299
第二节	负荷分布对低压网损的影响.....	303
第三节	负荷不对称对低压网损的影响.....	305
第四节	无功补偿对线损的影响分析.....	312
第五节	低压网损的估计.....	316
第十四章	低压电网的漏电保护	320
第一节	漏电保护器.....	320
第二节	漏电保护器的保护方式.....	325
第三节	三相漏电保护器错误接线分析.....	329
第四节	电网不平衡阻抗对漏电保护器的危害与防护措施.....	331
第五节	漏电保护器的动作电流和动作时间的选择.....	333
第十五章	低压配电系统防电击措施	337
第一节	低压配电系统的接地制式.....	337
第二节	低压配电系统的人身安全保护措施.....	341
第三节	TN 系统防止间接电击的具体措施.....	347
第四节	TT 系统防止间接电击的具体措施.....	352
第五节	IT 系统防止间接电击的措施.....	357
第六节	等电位连接和电击安全参数的测量.....	363
第十六章	低压电网的过电压保护	370
第一节	低压设备过电压及防护措施.....	370
第二节	配电变压器的防雷保护措施.....	374
第三节	低压架空线路的防雷保护.....	377
第十七章	接地	380
第一节	接地的种类和要求.....	380
第二节	接地装置.....	382
第三节	接地电阻的计算.....	384
第四节	降低接地电阻的措施.....	391
第五节	接地电阻的测量.....	395
第十八章	触电紧急救护法	398

第一章 低压电力网概述

电力的高、低压是以其额定电压的大小来区分的,1kV 及以上电压等级为中压和高压,1kV 以下的电压等级为低压。通常我们所说的低压电力网是指自配电变压器低压侧或从直配发电机母线,经监测、控制、保护、计量等电器至各用户受电设备所组成的电力网络。它主要由配电线路、配电装置和用电设备组成。

由于低压电力网是电力输送、分配的最终端环节,所以它具有分布面广泛、在整个电力系统中所占比例大等特点,也是供电企业生产、经营、维护管理的工作重点之一。

第一节 低压架空配电网的接线

一、接线方式

一般低压架空配电网有放射式和并联配电变压器组式两种接线方式。

(一) 放射式

放射式可分为一台配电变压器一组低压熔断器和多组低压熔断器两种。

1. 一组低压熔断器

采用这种接线方式时,所有的低压配电线路都由一组低压熔断器控制,如图 1-1 所示。这种方式的主要特点是接线简单,造价较低。其不足之处在于供电可靠性差,安全性差。如果低压配电线路上任何一点发生故障,低压熔断器熔断后,全部低压配电网停电,停电面积较大。另外如果故障发生在离配电变压器稍远一点的地方,由于低压熔丝的容量是按配电变压器容量选定的,就有可能不熔断。例如 315kVA 容量的配电变压器,低压熔丝容量应选用 500A,短路电流小于 650A 时,熔丝不熔断,短路电流 1000A 时,熔丝需要

1min 左右才熔断。如果短路地点距配变较远,短路电流在 1000A 以下,就有可能将导线烧断,落地后易造成行人触电死亡;也有可能引起零线上电位偏移,烧坏用电设备及烧坏配电变压器等。因此,只有负荷密度较小、供电范围也较小的地区,且配电变压器容量不超过 50kVA 或 100kVA 时,采用这种接线方式才比较经济合适。

2. 多组低压熔断器

这种接线方式是一路低压配电线路采用一组低压熔断器,如图 1-2 所示。这样有两个好处:一是当一路低压配电线路短路,只有这路低压配电线路的低压熔断器熔断,停掉一条回路,不影响其他线路供电,因此停电面积较小,影响用户较少,从而提高了供电可靠性;二是分成几个回路供电,每个回路的额定电流相对减少,低压熔断器的熔丝容量也相应减

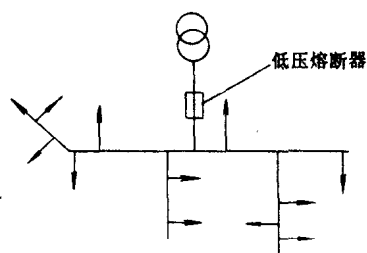


图 1-1 一台变压器一组低压熔断器放射式接线方式图

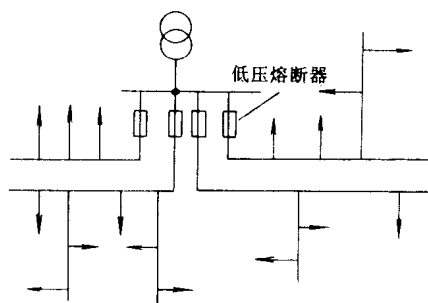


图 1-2 一台变压器多组低压熔断器放射式接线方式图

小,短路电流超过熔丝额定电流的倍数相对增加,从而提高了保护的灵敏度,保护范围可以覆盖到全网,断线和烧坏用户设备的机会也自然减少了。

(二) 并联配电变压器组式

在负荷密度较大,供电可靠性要求高,比较重要的城市中心区,可以采用并联配电变压器组式,如图 1-3 所示。其一次采用开式,二次采用闭式或开式运行。如果架空低压配电线路由裸线改为交联聚乙烯或聚氯乙烯塑料电缆(前者耐寒、耐热性能较好,寿命较长,但价格较贵),从架空裸线的 T 接改为架空电缆线路的 II 接,不仅可以节约线路走廊,而且可以增强防

止外力破坏的能力,提高供电可靠性。这种接线的配电变压器,一次侧来自不同的中压配电线路,二次侧的低压配电线路可以互相连通,任何一台配电变压器停电时,低压配电网均可不受影响,继续供电。

二、保护设备

在以上各种接线方式中,低压配电线路的保护设备可以采用低压熔断器或自动空气开关。低压熔断器价格低廉,维护简单,但可靠性较差,往往因接触不良发生熔断,特别是容量大的低压熔断器。所以,300A 以上很少采用低压熔断器。自动空气开关价格比较昂贵,维护也较复杂,但跳闸灵敏度较高。目前国产自动空气开关要注意检查接点发热问题。上述两种保护设备目前处于并存状态。

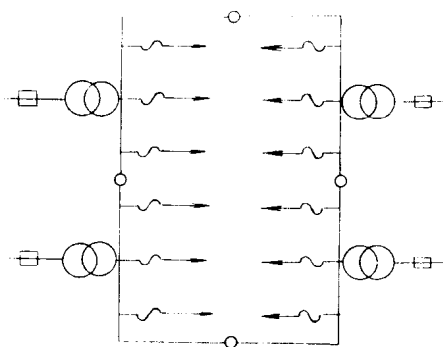


图 1-3 并联变压器供电接线方式图

第二节 低压电缆配电网的接线

在新建的住宅区和城市的中心地区,负荷密度较大,供电可靠性要求更高,环境美化要求也更讲究,在这样的地区就需要采用地下电缆线路。另外,农村为了节约电杆和投资,也有采用绝缘地埋线路的。低压地下电缆目前均采用聚氯乙烯绝缘、聚氯乙烯护套的铜芯 VV 型或铝芯 VLV 型单芯或四芯塑料电缆,油浸纸绝缘电缆在低压网中已被淘汰。

低压电缆配电网的接线方式分为放射式、普通环式、拉手环式等几种,另外还有格式。

一、放射式

1. 单回路放射式

单回路放射式一般多用于农村,采用在冻土层下直埋形式。

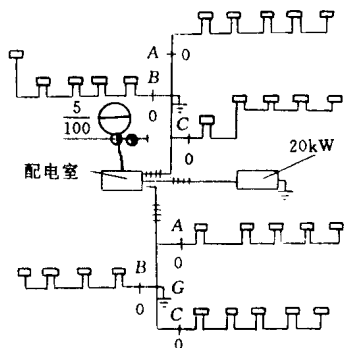


图 1-4 单回路放射式电缆供电方式示意图

图 1-4 是它的示意图,小方块代表接线箱或房屋,每一分

支的第一户内装有分路胶盖安全开关,每户都装有低压熔断器或安全开关。为了节约低压电缆,目前城镇中的新建住宅楼群区也偶有使用。

2. 双回路放射式

在供电可靠性要求较高的地区使用,结构可参看图 1-5。

3. 带低压开闭所的放射式

结构见图 1-6。从低压变电站到低压开闭所的电缆可以两回线或三回线并联,从低压开闭所出来的电缆一般是放射式,也可以是双线放射式,常用于新建住宅楼群区。

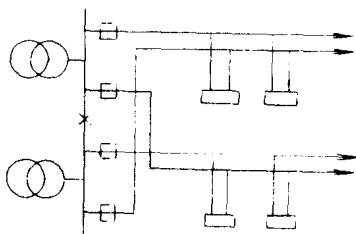


图 1-5 双回路放射
供电接线原理图

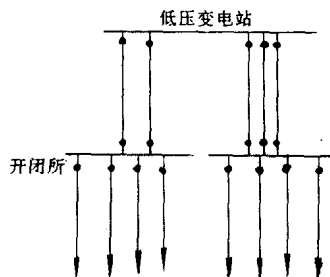


图 1-6 有低压开闭所的
低压供电示意图

二、普通环式

只有一台配电变压器或几台属于同一中压电源的配电变压器供电的低压配电网,自己构成环式。这种接线,在低压配电电缆某一点故障时可以不致造成用户长时间停电。一般用于住宅楼群区,敷设在 0.5m 深处的水泥槽内。用户入口处可安装开关或电缆插头,电缆插头的外形如图 1-7 所示。

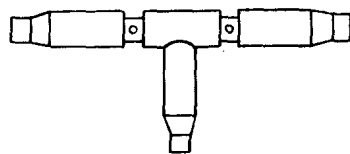


图 1-7 电缆插头图

三、拉手环式

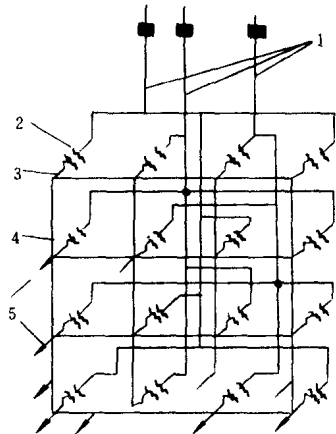


图 1-8 格式低压网接线原理图

1—中压配电线路; 2—配电变压器;
3—低压熔断器; 4—低压格网;
5—负荷

这种接线方式的低压配电网,由两个以上来自不同电源(不同变电站或同一变电站的不同母线段)的中压配电线路供电的多台配电变压器作为电源。这种接线可以保证低压配电网某段故障或检修时用户不停电,也可以保证低压变电站一侧全停、中压配电线路一回全停或中压变电站一侧母线全停时用户不停电,因此供电可靠性大大高于单电源的普通环式。但在事故情况下,还要短时间对用户停电。

四、格式

图 1-8 是它的接线原理图,分低压格网、低压变电站群、中压配电线路三个部分。格式低压网的特点是结构灵活,供电可靠性高,能随时随地立即接电,满足低压用户的负荷需要。

配电变压器一般都是同一容量。每个配电变压器周围的

其他配电变压器的电源应来自不同中压变电站或同一中压变电站不同母线段的中压配电线路。

低压格网一般采用相线和中线都是同一截面的单芯塑料电缆，在负荷密度较大地段，则每相并联两根甚至三根同一截面的电缆。这样，既便于交叉点(工井中)的施工，备品备件的简化，又能满足烧清故障的需要。所谓烧清故障，即故障电流足以使电缆在故障两侧熔化，脱离故障点。一般说来，208/120V 的格网由于

低压电弧不会持续不灭，这种办法十分见效，380/220V 的格网就不一定十分可靠，需增加安秒特性与电缆绝缘损坏特性相匹配的“限制熔断器”，限制故障电流对电缆的破坏作用。

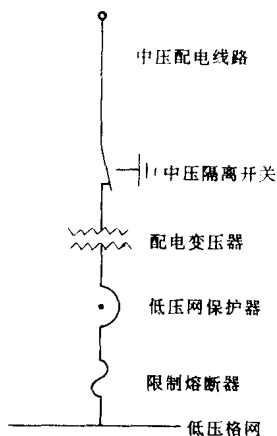


图 1-9 低压格网保护装置接线原理图

低压格网保护装置的接线见图 1-9 所示。低压网保护器包括一台低压空气开关和控制其动作的继电器。它的主要功能是自动配合上一级变电站的中压配电线路出口断路器，来隔离中压配电线路或配电变压器发生的故障。这时由低压格网反馈流向配电变压器或中压配电线路故障点的电流将驱动低压网保护器的主继电器动作，使低压空气开关跳闸。另外还能自动断开例如配电变压器的励磁电流等较小的反向电流，以及当中压配电线路与配电变压器恢复供电后有条件地自动合上低压空气开关，使配电变压器与低压格网接通。

第三节 低压电网的供电制式

低压电网的供电制式有两大类，一种是欧、亚大多数国家采用三相四线(Y)制；另一种是美、日和美洲大多数国家采用三相四线(Δ)制。后者虽然是少数国家(不完全统计有十几个国家，但其用电量占世界用电量的 34%)。两大类的发展有地域技术进步的历史原因，也有贸易保护政策因素。不过，从节能和经济观点出发，三相四线(Δ)制更具有显著的节能和经济效益。

一、单相负荷供电制式

居民用电大都是单相负荷，而向单相负荷供电有四种供电制式：单相二线、单相三线、三相三线和三相四线(Y_0 、 Δ_0)。在我国长期以来是以单相二线(负荷线)和三相四线(低压干线)向居民供电。这种供电方式不如美、日和美洲一些国家采用的单相三线制合理。

单相三线制是以单相变压器作电源的。单相变压器的二次绕组端电压是单相低压电器设备电压的 2 倍，在其绕组中点引出一条中(零、地)线，该中线与两端线之一向单相低压设备供电。在负荷线路电流密度均相同，单相二线制的导线截面为 1，单相三线和三相四线的导线截面分别是 1/3 和 1/2 情况下进行技术经济比较，其结果见表 1-1 和表 1-2。表中三相三线制的线电压等于单相线路的相电压。

单相二线和单相三线制的电源变压器是单相变压器；而三相三线和三相四线(Y)制，向单相负荷供电需用的是三相变压器。同容量三相变压器的用料和电能损耗均高于单相变压

器 10.7%~14.5%，其比较表如表 1-3，综合比较表如表 1-4。比较结果，单相三线制优于其他制式。

表 1-1 为单相负荷供电时，几种制式导线重量比较表

供电制式	单相二线	单相三线	三相三线	三相四线(Y)
相线数×截面	2×1	$2 \times \frac{1}{2}$	$3 \times \frac{1}{\sqrt{3}}$	$3 \times \frac{1}{3}$
中线数×截面	—	$1 \times \frac{1}{6}$	—	$1 \times \frac{1}{6}$
截面合计	2	$1 \frac{1}{6}$	$\sqrt{3}$	$1 \frac{1}{6}$
重量比较(%)	100	58.3	86.6	58.3
节约率(%)	—	41.7	13.4	41.7

表 1-2 电能损耗比较表(基准值= $I_p^2 R_0$)

供电制式		单相二线		单相三线		三相三线		三相四线(Y)	
负荷点数		实值	(%)	实值	(%)	实值	(%)	实值	(%)
4		60	100	44	73.0	57	95.0	54	90.0
5		110	100	76	69.1	102	92.7	87	79.1
6		182	100	112	61.5	165	90.7	123	67.6
7		280	100	168	60.0	251	89.6	180	64.3
8		408	100	232	56.9	364	89.2	261	64.0
9		570	100	320	56.1	504	88.4	333	58.4
10		770	100	420	54.5	679	88.2	441	57.3
11		1012	100	548	54.2	890	87.9	570	56.3
12		1300	100	692	53.2	1140	87.7	714	54.9
平均值	4~12	—	100	—	59.9	—	89.9	—	66.0
	4~9	—	100	—	62.8	—	90.9	—	70.6
	4~6	—	100	—	68.0	—	92.8	—	78.9

表 1-3 配电变压器用料和电能损耗比较表

供电方式	单相二线	单相三线	三相三线	三相四线(Y)
铁芯柱数 N	2	2	3	3
铁芯容量	1/2	1/2	1/3	1/3
材料用量 G	100	100	110.7~114.5	110.7~114.5
电能损耗 A	100	100	110.7~114.5	110.7~114.5

注 $G = K_G \cdot N \cdot S^a$; $A = K_A \cdot N \cdot S^a$, $a = \frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$ 。

表 1-4 配电变压器用料和电能损耗综合比较表

供电方式		单相二线	单相三线	三相三线	三相四线(Y)
材料消耗	线路	100	58.3	86.6	58.3
	变压器	100	100	110.7~114.5	110.7~114.5
	比较	多	少	较多	较少
电能损耗	线路	100	59.9~68	89.9~92.8	66.0~78.9
	变压器	100	100	110.7~114.5	110.7~114.5
	比较	多	少	较多	较少
综合比较		差	优	较差	中

二、三相负荷供电制式

向三相负荷供电只需三相三线制。向小容量三相电气设备的供电电压受到与单相电气设备共用变压器的影响,三相制的线电压是单相电气设备相电压的 $1/\sqrt{3}$ 或 2 倍;向大中等容量三相电气设备供电的电压虽然与单相设备电压无直接关系,但是受到技术发展和历史形成原因的影响,为单相设备电压的 $3/2\sqrt{3}$ 和 $3\sqrt{3}$ 倍,或者另成系列。

三相负荷的供电制式与其电压有内在联系,其线路导线重量、电能损耗关系如表 1-5。

表 1-5 三相负荷线路的导线重量和电能损耗比较表

供电方式	三相三线(Δ)	三相四线(Y)	三相四线(Δ)	三相三线(Y, Δ)		
电压倍数	1	$\sqrt{3}$	2	3	$2\sqrt{3}$	$3\sqrt{3}$
电能损耗(%)	300	100	75	33.3	25	11.1
导线重量(%)	173.2	100	86.6	57.7	50.0	33.3
电能损耗(%)	173.2	100	86.6	57.7	50.0	33.3

- 注 1. 电压倍数是三相线电压与单相设备电压比值。
 2. 导线截面相同时的电能损耗为表中值。
 3. 导线电流密度相同其导线重量,相应的电能损耗为表中大值。

三相三线供电制式的变压器接线,可以是 Y 或 Δ 结构。在三相负荷与单相负荷共用一台变压器时,由于单相供电制式相同,其三相四线制的变压器接线,存在 Y_0 和 Δ_0 的区分。向单相负荷供电的零(地)线,前者是由 Y 结构的中性点引出,该变压器容量是三相容量和单相容量的总和,运行中二者可以相互调剂;后者是由 Δ 接线中的一相绕组中点引出,只有该相绕组可以向单相负荷供电,该相设计容量是单相容量与 $1/3$ 三相容量之和,这二类变压器用料和电能损耗比较见表 1-6。虽然(Δ)制式变压器的用料和电能损耗比(Y)制变压器的少些,但是其单相、三相容量分别受到限制,在选择和使用变压器时应予以注意。

表 1-6 变压器用料和电能损耗比较表

$\frac{S_1}{S_3}$	$S = S_1 + S_3$	三相四线(Y)		三相四线(Δ)							$G(P)(\Delta)$
		S_Φ	$G(P)$	$S_{\Phi 1}$	$G_1(P_1)$	$S_{\Phi 2}$	$G_2(P_2)$	$G(P)$	$\frac{S_{\Phi 1}}{S}$	$\frac{3S_{\Phi 2}}{S}$	$G(P)(Y)$
0	3	1	3	1	1	1	2	3	0.33	1	1
1/4	3.75	1.250	3.546	1.75	1.522	1	2	3.522	0.467	0.80	0.993
1/3	4.0	1.333	3.722	2.0	1.682	1	2	3.682	0.50	0.75	0.989
1/2	4.5	1.50	4.066	2.5	1.988	1	2	3.988	0.556	0.667	0.983
3/4	5.25	1.75	4.565	3.25	2.421	1	2	4.421	0.619	0.571	0.969
1	6.0	2.0	5.045	4.0	2.828	1	2	4.828	0.667	0.50	0.957
2	9.0	3.0	6.839	7.0	4.304	1	2	6.304	0.778	0.333	0.922
3	12.0	4.0	8.485	10.0	5.623	1	2	7.623	0.833	0.25	0.898

- 注 1. S_1 、 S_3 和 S 分别为变压器单相、三相和总容量。
 2. S_Φ 、 $S_{\Phi 1}$ 和 $S_{\Phi 2}$ 分别为铁心柱容量,相对应的铁心柱数为 3、1 和 2; $S_{\Phi 1}/S$ 和 $3S_{\Phi 2}/S$ 分别为该变压器单相和三相负荷最大容量的比值。
 3. 变压器本体用料重量为 G , 电能损耗为 P , 其计算式见表 1-3 注(取 $a=3/4$)。

实际上,随着居民生活用电水平的提高,特别是计算机的普遍应用,为了保持向单

相负荷供电的电压质量和不间断供电，以及为避免工业负荷中电动机启动电压波动、电焊机工作电压闪变、谐波的影响和减少变压器空载和满载运行的电能损失，发达国家中，除在个别场所外，已将单相负荷与三相负荷从线路上分开供电，而且也开始从电源变压器上分开供电。在我国工矿企业和农村电网中也有相当数量的三相负荷是使用专用变压器，采用三相三线制供电。这类三相负荷专用变压器和线路电压，可以不受单相电压 $\sqrt{3}$ 倍的限制，如能采用三相四线(Δ)制的线电压，则可收到减少线路电能损耗 25% 的效益(见表 1-6)。这对于数量众多的小容量三相电气设备来说，在维持其原有绝缘水平不大于 500V，设备基本尺寸不变的条件下，提高其电压等级以取得大量节能效益的技术措施是很少有的。可以说以三相四线(Δ)供电制式为基础发展的三相三线制是最经济的供电制式。

第四节 低压电网的经济供电半径

低压电网的经济供电半径是低压电网建设和改造中的关键数据。所谓经济供电半径，是指一个低压台区按此半径供电时，其年运行费最少。

年运行费用包括两部分：其一是每年的电能损耗费，其二是电网每年的折旧费。如果电网导线截面是按规定的电压损耗选取的，则电能损耗将与电网供电半径无关，故年运行费只与电网的折旧费有关。电网的折旧费又直接决定于建设电网的投资，因此，电网初投资最小，其年运行费也最小。

基于上述说明，可采用下列方法计算出低压电网的经济供电半径。

一、圆形低压网的经济供电半径

假如低压电网的供电区是以变压器为中心的圆形面积，其供电半径为 L ，沿着半径 L 有 n 条均一截面的低压干线向负荷供电，如图 1-10 所示。

电网的总投资包括变压器台和低压线路两部分，其中变压器台投资

$$K_1 = a_1 + b_1 P_m \quad (1-1)$$

式中 a_1 ——投资中与变压器容量无关的部分，元；

b_1 ——变压器台投资中与容量有关的部分，元/kVA；

P_m ——变压器经济容量，kVA。

每米低压线路的建设投资为

$$K_2 = a_2 + b_2 S \quad (1-2)$$

式中 a_2 ——线路投资中与导线截面无关的部分，元；

b_2 ——线路投资中与导线截面有关部分，元/mm²；

S ——导线截面积，mm²。

低压电网总投资

$$\begin{aligned} K &= K_1 + K_2 n L \\ &= a_1 + b_1 P_m + n L (a_2 + b_2 S) \end{aligned}$$

式中 n ——干线条数；

L ——供电半径，m。

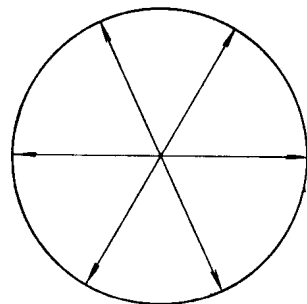


图 1-10 圆形低压网示意图

设供电区内的负荷密度为 $\sigma(\text{kW}/\text{m}^2)$ ，供电区面积为

$$\pi L^2 = \frac{P_m}{\sigma} \quad (1-3)$$

则供电半径为

$$L = \sqrt{\frac{P_m}{\pi\sigma}} \quad (1-4)$$

如果以电压降为选择导线截面的条件，且假设负荷是沿线均匀分布的，则电压降的百分数为

$$\begin{aligned} \Delta u \% &= \frac{\sqrt{3}IR}{2U} \times 10^{-3} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{3}IUR}{20U^2} = \frac{P_m R}{20\pi U^2} \\ &= \frac{P_m L}{20\pi U^2 S \rho} \end{aligned} \quad (1-5)$$

式中 I ——负荷电流，A；

U ——低压电网线电压，kV；

R ——导线电阻， Ω ；

L ——供电半径，m；

ρ ——电导率， $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ；

S ——导线截面积， mm^2 。

供电区内每条导线的截面为

$$S = \frac{P_m L}{20\pi U^2 \rho \Delta u \%} \quad (1-6)$$

将式(1-4)、式(1-6)代入总投资表达式中有

$$K = a_1 + b_1 P_m + na_2 \sqrt{\frac{P_m}{\pi\sigma}} + \frac{b_2 P_m^2}{20\pi\sigma\rho\Delta u \% U^2}$$

供电区单位面积上的投资为

$$\begin{aligned} K_0 &= \frac{K}{\pi L^2} \\ &= \frac{\sigma a_1}{P_m} + b_1 \sigma + na_2 \sqrt{\frac{\sigma}{\pi P_m}} + \frac{b_2 P_m}{20\pi U^2 \rho \Delta u \%} \end{aligned}$$

将 K_0 对于 P_m 求导，并命之为 0，有

$$\frac{dK_0}{dP_m} = -\frac{a_1 \sigma}{P_m^2} - \frac{na_2 \sqrt{\sigma}}{2 \sqrt{\pi P_m^3}} + \frac{b_2}{20\pi U^2 \rho \Delta u \%} = 0$$

上式中 a_2 是线路投资中与导线截面无关的部分，相当于杆塔、路径、金具等项费用。在低压电网建设中，这部分费用是很少发生变化的。因此，可将其略去不计，如此，上述公式可简化如下

$$-\frac{a_1 \sigma}{P_m^2} + \frac{b_2}{20\pi U^2 \rho \Delta u \%} = 0$$

计算得出经济供电容量

$$P_m = \sqrt{\frac{20a_1 U^2 \rho \Delta u \% \pi \sigma}{b_2}} \quad (1-7)$$

将式(1-7)代入式(1-4)中可以得出经济供电半径为

$$L = \sqrt{\frac{P_m}{\pi \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{20a_1 U^2 \rho \Delta u \%}{\pi \sigma b_2}} \quad (1-8)$$

当采用铝导线时, $\rho = 34 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$, $b_2 = 0.422 \text{ 元}/\text{mm}^2$; 当采用铜导线时, $\rho = 57 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$, $b_2 = 0.231 \text{ 元}/\text{mm}^2$, $a_1 = 2200 \text{ 元}$, 于是对用铜导线的经济容量为

$$P_m = 4971 \sqrt{\sigma} \quad (1-9)$$

经济供电半径为

$$L = 38.75 \frac{1}{\sqrt[4]{\sigma}} \quad (1-10)$$

对用铝导线的经济容量为

$$P_m = 3341 \sqrt{\sigma} \quad (1-11)$$

经济供电半径为

$$L = 51.86 \frac{1}{\sqrt[4]{\sigma}} \quad (1-12)$$

二、狭长形低压网的经济供电半径

上述推导的前提条件是假定供电区的面积是圆形, 但实际常遇到的也可能是狭长地带。对狭长地带的情况用上述公式计算将要发生偏差, 因此, 必须对上述情况予以考虑。

为了确定狭长地带的供电半径, 我们可将狭长地带视为长、短轴具有一定比例的椭圆, 如图 1-11 所示。设椭圆的长轴为 A , 短轴为 B , 长短轴的比例为 $A/B = \lambda$ 。

椭圆方程式为

$$\frac{X^2}{A^2} + \frac{Y^2}{B^2} = 1$$

椭圆的面积为

$$A_s = 4 \int_0^A Y dX$$

且因

$$\begin{cases} X = A \cos t \\ Y = B \sin t \end{cases}$$

则

$$A_s = 4 \int_{\pi/2}^0 B \sin t (-A \sin t) dt$$

$$4AB \int_0^{\pi/2} \sin^2 t dt = \pi AB = \pi A^2 \frac{1}{\lambda} \quad (1-13)$$

今设 $A = L$, 则有

$$\pi L^2 \frac{1}{\lambda} = \frac{P_m}{\sigma}$$

$$L = \sqrt{\frac{\lambda P_m}{\pi \sigma}} \quad (1-14)$$

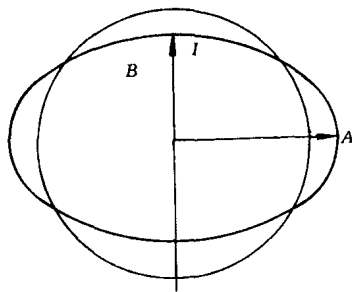


图 1-11 椭圆形供电区