



全国电力技能人员培训用书

全国电力继续教育规划教材

配电线路运行 维护与检修

全国电力继续教育规划教材编委会 组 编

马振良 主 编

胡 宽 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力技能人员

全国电力继续教育规划教材

配电线路运行 维护与检修

全国电力继续教育规划教材编委会 组 编

马振良 主 编

胡 宽 副主编

阎胜利 郭卓力 姜言金 王建民 王春生 编 写

张雅超 主 审



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力继续教育规划教材。

本书共分7章：第一章讲述配电网总体概况和对配电网的要求，以及配电网的结构和接地方式；第二章重点介绍配电线路的器材、电气设备、高压成套配电装置的作用、结构、原理、特点和重要的参数，尤其介绍了新型电气设备；第三章从架空配电线路、配电变压器的运行维护，防雷与接地，到配电倒闸操作和事故查找与处理，重点讲述运行维护必备的知识、运行标准和操作、事故查找与处理的方法；第四章讲述线路检修的基本技能、配电线路的设备检修与安装以及架空配电线路的状态检修，重点介绍检修与安装的方法、工艺要求、验收标准和危险点的防控；第五章讲述电缆线路的运行与维护；第六章讲述带电作业、旁路作业的原理、方法和典型的操作项目；第七章讲述可靠性管理、线损管理、电压管理、负荷管理和安全管理。

本书可作为转岗、轮岗、新员工上岗和在校大学生的教科书，也可作为在职员工拓展专业知识、提升专业技术水平的培训教材，还可作为管理者继续教育的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电线路运行维护与检修/马振良主编；《全国电力继续教育规划教材》编委会组编. —北京：中国电力出版社，2013.7

全国电力继续教育规划教材

ISBN 978-7-5123-4265-1

I. ①配… II. ①马… ②全… III. ①配电线路-电力系统运行-继续教育-教材②配电线路-检修-继续教育-教材
IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 066236 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年7月第一版 2013年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.75印张 508千字

定价 46.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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

全国电力继续教育规划教材编委会

主 任 赵建国

副 主 任 张薛鸿 刘广峰 陶 明 文海荣 董传敏

朱光辉 张炯明 辛志杰 陈明祥 罗福书

赵文建 赵 斌 杨建华 张全元 李洪波

秘 书 长 刘克兴

委 员 王立新 陈华贵 丁树文 章志刚 黄益华

李吉鹏 张红飞 罗红星 余建华 李建华

赵连政 李晓峰 高虹亮 马振良 王志平

时伟光 肖艳萍 郭 敏 徐 明 郜勇琴

王 宇 黄院臣 贺令辉 陈力耕 宋志明

霍永红 谢伟宏 孟应平 张永健 席晋鹏

常 湧 杨 龙 常 勇 周孝法 宋守信

王天君 李国胜 祝红伟

(排名不分先后)

出版说明

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010—2020)的精神,满足电力行业产业发展对高级管理人才、高技术技能型人才的需要,在中国电力企业联合会、国家电网公司的领导下,由中国电力出版社组织电力企业的资深专家、电力院校的知名教授、高级培训师,成立了全国电力继续教育规划教材编委会,启动了2010—2020年全国电力继续教育规划教材建设工作。通过统筹规划、专题研讨、集思广益、交流合作,经过两年时间的努力,完成了本套教材的编写工作。本套教材主要有以下特点:

(1)在内容设计上,以尽快培养宽口径复合型、技能型人才为原则,以使受训者拓宽、加深专业知识,了解技术与管理中的前沿内容,提升企业管理理念和技能;以专业理论为基础,国家专业技术规程、规范、标准为依据。涵盖电力专业技术、企业管理与执行、企业文化与团队建设、企业安全管理与监控等内容;突出新技术、新设备、新工艺、新方法,采用来自生产现场的第一手资料,并以理论与实践1:1的构架,形成了完整独特的培训教材体系。

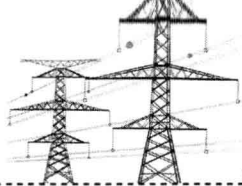
(2)在编写方式上,坚持少而精的原则,立足当前,着眼未来,内容的取舍取决于高技术技能型人才培养现在与未来的实际需求。做到结构清晰、重点突出,语言精炼、术语规范和标准化。教材以章节进行划分,每节按内容的走向分段落,每个段落形成一个版块,包括教学目标、任务准备、操作过程、技术标准、安全防范等环节,以便实现“教、学、做”一体化的传授模式。

(3)在传授的特点上,本套教材具有知识的系统性、连贯性、针对性;机能的实用性和可操作性等,由浅入深,从理论到实际地进行叙述,因此是电力企业高技术技能型人才继续教育、转岗、轮岗和新入职大学毕业生上岗培训首选的教科书,也是非电类专业优选的课外读物,是在职员工拓展专业知识、提升专业技术水平中具有指导性的培训教材,也是管理者继续教育不可缺少的参考资料。

本套教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略,实现电力企业高端管理和技能型人才培养的重要举措;是加快电力企业培训改革创新,全面提高培训质量的具体实践,必将对电力“一强三优”、“一特四大”、“三集五大”步伐起到积极的推动作用。

希望读者在使用这套教材的同时,能将教材中出现的不足和问题反馈给我们,以便进行完善和修订。

全国电力继续教育规划教材编委会



前言

本书按全国电力继续教育教材编委会统筹规划的教材大纲进行编写。

本书在编写的内容上,以使受训者拓宽、加深专业知识,了解技术与管理中的前沿内容,提升企业管理理念和技能为目的,以专业理论为基础,国家专业技术规程、规范、标准为依据,涵盖电力专业技术、企业安全管理等内容,突出了新技术、新设备、新工艺、新方法,并以理论与实践1:1的构架,形成了完整独特的培训教材体系;在编写方式上,坚持少而精的原则,立足当前,着眼未来;做到结构清晰、重点突出、语言精炼、术语规范;在传授的特点上,具有知识的系统连贯性、针对性,技能的实用性和可操作性的特点,由浅入深,从理论到实际进行讲解,实现了“教、学、做”一体化的传授模式。

本书由吉林供电公司马振良高级工程师任主编并负责统稿,山西电力职业技术学院胡宽讲师任副主编。其中,第一、三、四、七章由吉林供电公司姜言金、马振良高级工程师编写;第二章由焦作供电公司王春生工程师、武威供电公司王建民高级技师、吉林供电公司马振良高级工程师编写;第五章由山西临汾职业技术学院郭卓力高级技师编写;第六章由阎胜利高级讲师和马振良高级工程师编写。

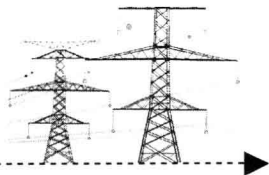
本书由吉林供电公司张雅超副总经理主审。

在本书编写过程中,得到了电力行业领导和专家的大力支持,在此一并表示感谢。

由于时间、经验和水平所限,书中不当之处,恳请专家和广大读者指正。

编者

2013年4月



目 录

出版说明

前言

第一章 概述	1
第一节 电力系统与电力网.....	1
第二节 配电网的接线	10
第三节 配电网中性点接地方式	15
思考题	21
第二章 配电线路器材与电气设备	23
第一节 配电线路器材	23
第二节 配电设备	38
第三节 成套高压配电装置	58
第四节 新型电气设备简介	68
思考题	83
第三章 配电运行	84
第一节 架空配电线路的运行维护	84
第二节 配电变压器的运行	97
第三节 配电网的防雷与接地.....	102
第四节 配电倒闸操作.....	107
第五节 配电缺陷、故障、事故的分析与处理.....	119
思考题.....	147
第四章 配电检修	149
第一节 检修工作的基本技能.....	149
第二节 架空配电线路的检修.....	161
第三节 配电设备的安装与更换.....	221
第四节 配电设备状态检修.....	246
思考题.....	250
第五章 架空配电线路不停电作业	252
第一节 带电作业.....	252
第二节 旁路作业法.....	265
第三节 移动电源法.....	268
思考题.....	269
第六章 电缆配电线路的运行与维护	270
第一节 电缆配电线路的巡视与监测.....	270
第二节 电缆配电线路的缺陷及处理.....	273

第三节 电缆线路故障查找.....	275
第四节 10kV 电缆头的制作	281
思考题.....	286
第七章 配电管理	288
第一节 供电可靠性管理.....	288
第二节 电能质量管理.....	295
第三节 配电变压器负荷电流的管理.....	304
第四节 配电网线损管理.....	306
第五节 安全管理.....	313
思考题.....	321
参考文献	322

第一章 概 述

本章在介绍电力系统与电力网的基本概念与构成的基础上,介绍了配电网的负荷分类、特性、负荷曲线以及对配电网的基本要求和配电网的发展趋势,详细地讲解了配电网的结构与接地,使读者对配电网络有个基本的了解。

第一节 电力系统与电力网

一、电力系统

1. 电力系统的基本概念

发电厂将燃料的热能、水流的位能或动能、风力的风能以及原子的核能等转换为电能。电能经过输电、变电和配电分配到各用电场所,通过各种设备转换成机械能、热能、光能等不同形式的能量,为国民经济、工农业生产和人民生活服务。由发电、输电、变电、配电和用电组成的整体,称为电力系统。电力系统构成示意图如图 1-1 所示。

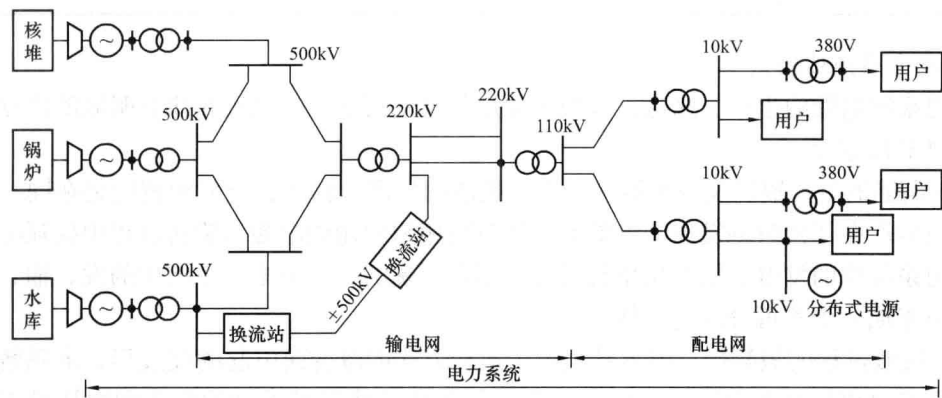


图 1-1 电力系统构成示意图

在电力系统中,通常把电能的发、输、配、用四个环节的电气设备,如发电机、变压器、输配电线路、配电装置、用电设备等称为一次设备。所有一次设备连接成的系统称为一次系统。对一次设备进行保护、监视、测量、操作控制的辅助设备,如控制电缆、继电保护、自动装置、远程监控装置、仪表及信号装置、通信系统设备、信息系统设备等称为二次设备,由二次设备组成的系统称为二次系统或辅助系统。

在电力系统中,一次设备的额定电压有 0.22、0.38、3、6、10、35、66、110、220、330、500kV 和 750kV 等电压等级。一般城市或大工业企业配电,用 6、10kV 电压等级;35、63、110、220、330、500kV 和 750kV 电压等级,多用于远距离输电。大功率电动机的额定电压用 3、6kV 或 10kV,小功率电动机的额定电压用 380/220V,照明采用 380/220V

三相四线制，电灯接在相线和中性线之间的 220V 相电压上。电压为 110V 或 220V 的直流网络，广泛应用在发电厂和变电站中，供电给继电保护、控制和信号设备等。

对电力用户而言，当要求供给的功率和与供给电能的电源点之间的距离确定后，供电线路的电压高则电流小，在线路和变压器中的功率损耗、电能损耗和电压损失也小，可以采用较小截面的导线以节约有色金属。但是，供电线路电压高时，线路的绝缘强度要求高，导线之间的距离和导线对地的距离都大，因而线路杆塔的几何尺寸也大。这样，杆塔材料消耗多，线路投资大。同时，线路两端的升、降压变电站内的变压器和开关电器等电气设备的投资也大。因此供电线路的电压高低，要根据供电功率、供电距离经技术经济比较确定。表 1-1 为各级电压合理输送功率与输电距离参考表。

表 1-1 各级电压合理输送功率与输电距离

额定电压 (kV)	线路结构	输送功率 (MW)	输电距离 (km)	额定电压 (kV)	线路结构	输送功率 (MW)	输电距离 (km)
0.38	架空线路	≤ 0.1	≤ 0.25	66	架空线路	3.5~30	30~100
	电缆线路	≤ 0.175	≤ 0.35	110	架空线路	10~50	50~100
6	架空线路	≤ 1	≤ 10	220	架空线路	100~500	100~300
	电缆线路	≤ 3	≤ 8	330	架空线路	200~300	200~600
10	架空线路	≤ 2	5~20	500	架空线路	400~1500	150~850
	电缆线路	≤ 5	≤ 10	750	架空线路	800~2200	500~1200
35	架空线路	2~10	20~50				

2. 电力系统的特点

电力系统电能的生产、输送、分配和使用与其他行业生产过程相比有明显的特点，主要体现在以下几方面：

(1) 电能的生产输送及使用的连续性。电能的生产、输送、分配和使用是在同一时刻完成的，发电厂在任何时刻发出的电能等于该时刻用户使用的电能和输送过程中损耗的电能之和，电力系统中的发电、用电功率每时每刻都是平衡的。一个电力系统中的发、输、配、用各个环节组成一个不可分割的整体。

(2) 过渡过程的短暂性。电力系统由于运行方式的改变而引起的波过程、电磁暂态过程和机电暂态过程是非常短暂的，要求正常运行和故障情况所进行的调整和切换操作非常迅速。所以，电力系统运行必须采用自动化程度高，又能迅速而准确动作的继电保护及自动装置和自动监测控制设备。

(3) 与生产及人民生活的密切相关性。电力与国民经济、人民生活的关系极其密切，电能供应不足或中断，将直接影响国民经济计划的完成和人民的正常生活，对某些用户甚至会造成产品报废、设备损坏以及危及人身安全等严重后果。这就要求不断提高电力工业的发展速度以满足国民经济各部门日益增长的用电需要，并不断提高供电的可靠性与电能质量，将事故及不正常运行降低到最低限度。

二、电力网

由不同电压等级的变电站和电力线路连接成的，用于汇集、输送、变换和分配电能的网络称为电力网，即在电力系统中，除去发电机及用电设备外的剩余部分。它包括升、降压变

压器和各电压等级的输、配电线路。电力网按在电力系统中作用的不同,可分为输电网和配电网。如图 1-2 所示。

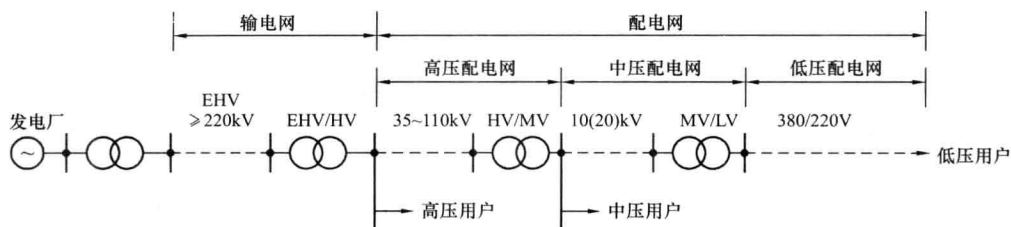


图 1-2 输电网与配电网划分示意图

(一) 输电网

为了提高电力输送容量及其稳定性,并减少输送过程中的损耗,发电厂发出的电能经变压器升压后,通过输电网送到大、中城市负荷中心的枢纽变电站。由于输电线路距离都比较大,有的数十、数百千米及以上,一般都采用超高压输电网送电。通常采用多回超高压线路,经由不同路径,把若干火电厂、枢纽变电站连接起来,构成输电网架;在大负荷中心地区(特大城市或几个近邻城市)以环形(或双环形)接线把多个枢纽变电站连接起来,形成输电网的受端网架。

我国输电网有交流 220、330、500kV 电压等级,以及 750、1000kV 特高压电压等级;并有多条 ± 500 kV 及以上直流输电工程投入运行和开工建设,逐步形成全国联合电力系统。

(二) 配电网

1. 配电网的构成

配电网是电力网的一部分,是从输电网接受电能,再分配给各用户的电力网。在我国,配电网包括高压配电网、中压配电网和低压配电网。

(1) 高压配电网。高压配电网的功能是从上一级电源接受电能后,可以直接向高压用户供电,也可以通过变压器作为下一级中压配电网的电源。高压配电网容量大、负荷重、负荷节点少、重要性较高。高压配电网的电压等级分为 110、63kV 和 35kV 三个标准,一般城市配电网采用 110kV 作为高压配电电压,在东北地区采用 63kV 作为高压配电电压,少数地区以 110kV 和 35kV 两种配电电压等级并存。

(2) 中压配电网。中压配电网的功能是从输电网或高压配电网接受电能,向中压用户供电,或向各用户小区负荷中心的配电变电站供电,再经过变压后向下一级低压配电网提供电源。中压配电网具有供电面广、容量大、配电点多等特点。在我国,中压配电网采用 10kV 为标准额定电压,部分城市逐渐由 20kV 代替 10kV 供电。

(3) 低压配电网。低压配电网的功能是以中压配电网为电源,将电能通过低压配电线路直接送给用户。低压配电网的供电半径较小,低压电源点较多,一台中压配电变压器就可作为一个低压配电网的电源,两个电源点之间的距离通常不超过数百米。低压配电网供电容量不大,但分布面广,除少量电能供电给集中用电的用户外,大量电能供电给城乡居民生活用电及分散的街道照明用电等。低压配电网的电压一般为三相四线制 380/220V,或单相两线制 220V。

2. 配电网二次系统

配电网二次系统主要包括继电保护与自动控制系统、远程监控与管理信息系统、计量系

统等。

(1) 继电保护与自动控制系统。继电保护的作用是在配电网发生故障时发出跳闸信号，快速切除故障元件，减少短路电流对故障设备及配电网的危害。

(2) 远程监控与管理信息系统。远程监控系统又称远动系统，由安装在现场的远方终端(RTU)、通信网络、主站三部分组成。它采集、显示配电网电压、电流、功率、频率等电气量和各种开关状态并下发各种控制、调节命令，供控制中心的值班人员实时监视观察配电网运行状态，及时发现问题并尽快采取相应的处理措施。

(3) 计量系统，指电能计量、计费系统。早期电能计量主要采用机械感应式电能表，依靠人工抄表记录电能量并计算电费；后来出现了把传统的机械感应式电能表与现代电子技术相结合的机电一体化脉冲电能表，实现了远方自动读表；近年来，又开发出了全电子式多功能电能表，具有分时段计费、失压自动计时等功能。现代的计量系统由安装在电能表箱的电能量采集终端、通信通道、安装在用电管理部门的电能量管理主站三部分组成，除完成远方读表、自动计费等功能外，还可以进行数据统计、分析、汇总、报表打印等功能，并可通过通信通道与银行接口，实现电子划账。

三、配电网的负荷

1. 负荷的分级

配电网的负荷又称用电负荷，是指用电设备工作时从电力系统吸取的电功率，或者是指各类用电设备在电力系统中某一时刻所需电功率的总和，以 kW（千瓦）或 MW（兆瓦）为单位。负荷一般按重要性分为一级负荷、二级负荷和三级负荷三类。

(1) 一级负荷，也称为一类负荷，是指突然中断供电将造成人身伤亡或将在政治、经济上造成重大损失的负荷，如造成重大设备损坏，有害物溢出，污染环境，生产秩序需要很长时间才能恢复，重要交通枢纽无法工作，经常用于国际活动的场所秩序发生混乱等的负荷。

在一级负荷中特别重要的负荷又称为保安负荷，如事故照明、通信系统、火灾报警装置、保证安全生产的计算机及自动控制装置等。保安负荷中断供电将导致爆炸、火灾、中毒、混乱等。

一级负荷要求有两个独立电源供电。所谓独立电源是指这两个电源之间无直接联系，如任一电源因故障而停止供电，另一电源不受影响，能继续供电的电源。对特别重要的负荷（保安负荷）还必须具备有应急电源，如蓄电池、能快速启动的柴油发电机、不间断电源装置(UPS)等。

(2) 二级负荷，也称为二类负荷，是指中断供电将在政治、经济上造成较大损失的负荷，如造成主要设备损坏，产品大量报废或减产，连续生产过程需较长时间才能恢复的负荷；突然中断供电将会造成社会秩序混乱或产生严重政治影响的负荷，如交通与通信枢纽、城市主要水源、广播电视、商贸中心等用电负荷。

二级负荷原则上要求两路及两路以上线路供电，并尽量做到当发生电力变压器或电力线路故障时不致中断供电；当负荷较小时或地区供电困难时，也可由一路专用线路供电。

(3) 三级负荷，也称为三类负荷，是指不属于上述一级负荷和二级负荷的其他负荷。三级负荷，突然中断供电造成的损失不大或不会造成直接损失，对供电电源无特殊要求。

近年来，随着高科技设备的广泛应用，用户对电能质量的要求越来越高。根据电能质量波动影响的严重程度，将用电负荷又分为以下三类：

(1) 普通负荷,指基本不受电能质量波动的影响或者造成的损失较小的电力负荷,如一般照明设备与家用电器、电加热器、通风机等。

(2) 敏感负荷,指对电能质量有一定要求的用电设备,如电动机控制器、UPS 电源、变频调速器。电能质量波动时可能会对此类负荷造成一定的影响和危害。

(3) 严格负荷,指对电能质量要求非常严格的用电设备。电能质量出现问题时会对严格负荷造成严重的后果,如造成设备损坏、生产过程中断、产品大量报废、计算机数据遭到破坏等。这类负荷包括集成电路芯片制造流水线、微电子产品的智能化流水线、银行与证券中心的计算机系统等,还包括重要集会场合照明设备(如碘钨灯)等。

此外,不同电力负荷的特性也有很大差异,部分电力负荷会对配电网以及整个电力系统带来负面影响。这些负荷具体可分为冲击性负荷、不对称负荷、非线性负荷三大类。冲击性负荷会引起供电电压瞬间波动或过负荷;不平衡负荷会引起不平衡电流,造成供电电压不对称;而非线性负荷会引起谐波电流,造成供电电压畸变。对这三类负荷,在进行供用电工程建设时,需要采取技术措施,避免或减少其对配电系统的不良影响。

2. 负荷特性

用电负荷特性反映了配电网负荷的固有性质和变化规律,如幅值大小、功率因数、波动情况、季节变化、集中程度、环境影响等。研究并掌握配电网负荷特性,有利于正确选择配电网接线,合理配置设备的容量和形式,安排适当的运行方式,不断提高配电网的经济效益和供电的安全可靠性。

用电负荷特性可按工业用电负荷特性、农业用电负荷特性、交通运输用电负荷特性、市政生活及照明用电负荷特性进行分类。

(1) 工业用电负荷特性。工业用电负荷通常有负荷集中、连续性强的特性。负荷情况与行业性质及用户的工作方式有关。工业用电负荷虽然也随一些外界环境条件变化有所增减,如部分建材、制糖生产受季节影响等,但负荷本身影响较小,全年负荷比较稳定。

(2) 农业用电负荷特性。农业用电负荷包括农村居民用电、农村生产与排灌用电、农村工商业用电等。农业用电负荷受气候、季节影响较大。

(3) 交通运输用电负荷特性。交通运输用电负荷包括火车站、汽车站、航运码头、飞机场、航空站的动力和通风用电,电气化铁道和电气化运输机械的用电,以及车站、码头、机场基建用电等。这类负荷在全年内一般变化不大。

(4) 市政生活及照明用电负荷特性。市政生活及照明用电负荷包括城市公用事业、居民、商业、学校、机关、部队等的生活及照明用电负荷。其中公用事业用电负荷较为平稳,居民、商业等用电负荷受季节影响却极为明显,有时直接影响配电网峰值负荷的季节性变化,其影响程度取决于这类负荷在配电网负荷中所占的比重。

3. 负荷曲线

用电负荷与时间的关系曲线称为负荷曲线,反映了一定时间段内负荷随时间变化的情况。通过负荷曲线,可以掌握各个时期内负荷变化的规律,从而制定出配电设备运行、维护、检修的计划,也可估计出配电设备及其负荷的变化趋势,从而制定配电网的建设规划。负荷曲线有有功负荷曲线、无功负荷曲线、日负荷曲线、年负荷曲线四类。

(1) 日负荷曲线。日负荷曲线表示一日 24h 内负荷变化情况,作为经济而且合理地安排配电网日运行方式的依据,保证供电的安全可靠性。日负荷曲线是根据在一定时间间隔内功

率的测量记录,在直角坐标中逐点画出,并依次连接成折线或绘成曲线,如图 1-3 (a) 所示。绘制日负荷曲线所选的时间间隔可自定,如 0.5h 或 1h,时间间隔越短,越能精确反映实际负荷的变化。为实际应用及便于计算,也可将所测量的各点数值逐点绘成阶梯形曲线。日负荷曲线与纵、横坐标所包围的面积,就代表一日 24h 内所消耗的电能,即配电网的日电量。

(2) 年负荷曲线。年负荷曲线表示一年中的负荷变化情况,用以制定全年或各季的配电网运行方式,安排设备维修计划和实施配电网的年度改造、建设计划。年负荷曲线有两种:①表示一年中每日最大负荷变动的情况,称为日最大负荷年变动曲线,或称年负荷曲线,如图 1-3 (b) 所示。该曲线可根据典型日负荷曲线间接绘制。②不分日月的界限,而以全年实际使用小时为横坐标,以负荷大小的数值为纵坐标,依次排列绘制而成,称为电力负荷年持续曲线,如图 1-3 (c) 所示。该曲线可近似地根据一年中具有代表性的夏季和冬季日负荷曲线进行绘制。电力负荷年持续曲线与纵、横坐标所包围的面积等于一年中所消耗的电能,即配电网的年售电量。

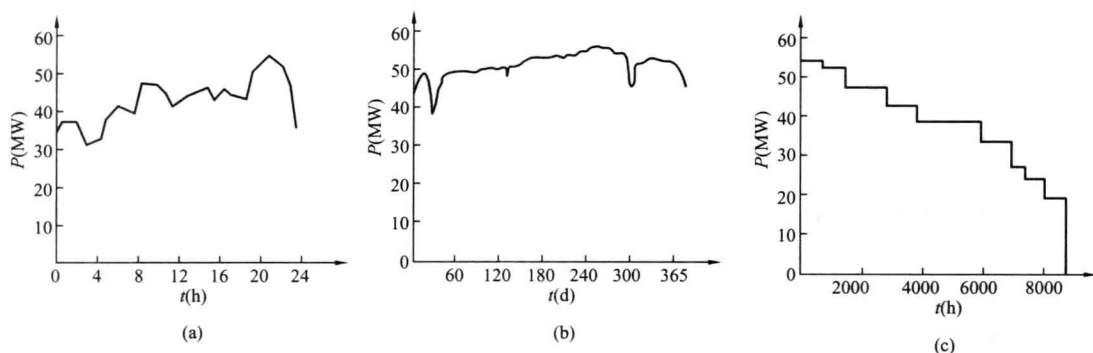


图 1-3 负荷曲线

(a) 日负荷曲线; (b) 年负荷曲线; (c) 电力负荷年持续曲线

四、对配电网的基本要求

随着经济的发展、人民生活水平的提高,社会对电力的依赖程度越来越大。在满足用电量需求的同时,用户对供电质量的要求也越来越高,主要体现在供电可靠率和电能质量两个方面;同时,国家对配电网的经济运行要求也越来越高。

1. 供电可靠性

供电可靠性是指电力系统对用户持续供电的能力,可通过一系列指标量度,通常以百分率或平均用户年停电时间(小时或分钟)表示,即供电可靠率为

$$RS - 1 = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间}}{\text{统计期间时间}} \right) \times 100\%$$

若不计外部影响,供电可靠率为

$$RS - 2 = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间} - \text{用户平均受外部影响停电时间}}{\text{统计期间时间}} \right) \times 100\%$$

若不计系统电源不足影响,供电可靠率为

$$RS - 3 = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间} - \text{用户平均限电停电时间}}{\text{统计期间时间}} \right) \times 100\%$$

用户供电可靠率指标是采用统计方法计算的。我国用户供电可靠率统计是以中压配电变压器作为用户统计单位进行统计的（35~110kV 高压大用户另作一类统计分析）。供电可靠率 RS-1 是计入所有对用户的停电后得出的，真实地反映了配电网对用户的供电能力；供电可靠率 RS-2、RS-3 是扣除外部因素后的供电可靠率，直接反映了目前我国配电网的现状和供电企业的综合管理水平。

近年来，由于电网企业对供电可靠性的高度重视，对电网投资的不断增加，应用先进的技术和管理手段，最大限度地降低了用户的停电时间，使用户供电可靠性水平得到稳步提高，并将供电可靠率作为供电企业服务的重要指标对社会进行承诺，要求供电可靠率（RS-1）为 99.9%。

2. 电能质量

电能质量是由一系列指标来度量的。按照我国颁布的电能质量标准，电能质量指标包含频率偏差、电压偏差、电压波动与闪变、谐波、三相不平衡、电压骤降六个方面。

（1）频率偏差。频率偏差指电力系统实际频率与额定频率的差值或其差值与额定值的百分比，即

$$\Delta f = f - f_N \quad \text{或} \quad \Delta f = \frac{f - f_N}{f_N}$$

式中 f ——电力系统运行实际频率，Hz；

f_N ——额定频率，Hz。

如果频率过高或过低，则动力设备的转速将随频率的高低而改变，因而会影响对速度敏感的工业品的质量；同时系统内一些与频率有关的损耗也将升高，影响运行的经济性。我国规定频率允许偏差为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，系统容量较小时，允许偏差为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。我国大区域电力系统实际运行频率偏差都在 $\pm 0.1\text{Hz}$ 之内。

（2）电压偏差。电压偏差指某一时段内，电压幅值（指电压有效值）缓慢变化而偏离额定值的程度，以电压实际值与额定值之差或其百分值来表示，即

$$\Delta U = U - U_N \quad \text{或} \quad \Delta U = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

式中 U ——监测点的电压实际值，V；

U_N ——监测点系统电压额定值，V。

电压偏差超过一定范围，用电设备会由于过电压或过电流而损坏。电压过低会使电网线损（有功功率损耗）增加，导致电网运行的经济性降低。我国规定，供电电压与额定电压的允许偏差：35kV 及以上的供电电压，正负偏差的绝对值之和小于 10% 的额定电压；10kV 及以下的用户端三相供电电压，为额定电压的 $\pm 7\%$ ；220V 单相用户端供电电压，为额定电压的 $+7\%$ 、 -10% 。

（3）电压波动与闪变。电压波动指某一段时间内电压急剧变化而偏离额定值的现象。通常电压变化速率大于 $1\%/s$ 时，即为电压急剧变化。电压波动以电压急剧变化过程中相继出现的电压最大值与最小值之差或其与额定值的百分比来表示，即

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} \quad \text{或} \quad \Delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100$$

式中 U_N ——额定电压，V；

$U_{\max}$ 与 $U_{\min}$ ——分别为某段时间内电压波动的最大值和最小值，V。

电压波动与电压偏差概念不一样。电压偏差主要指电压有效值的缓慢变化，而电压波动反映的是电压有效值的快速变化。电压波动通常是由配电网中冲击性大负荷引起的。国家标准规定电压波动允许值 $\Delta U\%$ ：10kV 以下系统为 2.5%，35~110kV 系统为 2%。

如果电压有效值波动呈周期性，将会引起白炽灯、电视机闪烁。造成人眼视觉主观感觉不舒适的现象，称为闪变。因为闪变是人对照度波动的主观视觉，因此，闪变对不同的人的危害各不相同。

(4) 电网谐波。在理想情况下，电力系统供电电压波形应是正弦波形，但由于配电系统中存在大量的具有铁芯结构的电气设备、电力电子设备和整流装置或电弧炉等，即存在大量的谐波源，实际供电电压波形已不再是理想的正弦波，这种现象称为电压正弦波形畸变。根据傅里叶分析原理，一个畸变的正弦波形可以分解为基波和若干个频率是基波频率整数倍的谐波之和。电压正弦畸变程度以电压正弦波形的畸变率 DFU 表示。 DFU 为各次谐波电压的均方根值与基波电压有效值之比的百分数，即

$$DFU = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \times 100\%$$

式中 U_n ——第 n 次谐波的电压有效值，V；

U_1 ——基波电压有效值，V。

谐波的存在将使配电网中的功率损耗增加，配电设备过热、寿命缩短；会引起系统内某些继电保护误动，造成供电中断；使电动机损耗增加、效率下降，运转发生振动而影响工业品的质量。此外，它还影响电能表（主要是感应式电能表）的准确计量。我国国家标准规定的公用电网谐波电压（相电压）限值见表 1-2。

表 1-2 电网谐波电压（相电压）限值

电网额定电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率 (%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6~10	4.0	3.2	16
35~66	3.0	2.4	1.2
110	2.0	1.6	0.8

(5) 三相电压不平衡度。在理想的三相交流系统中，三相电压应有同样的数值，且相位按 A、B、C 相的顺序互成 120° 角，这样的系统叫做三相平衡（或对称）系统。但由于故障（如断线）、负荷不对称等因素的影响，实际电力系统三相电压并不是完全平衡的。三相电压不平衡意味着存在负序分量，它使电动机产生振动力矩和发热，严重时会引起继电保护误动。

电力系统三相电压不平衡程度用不平衡度来表示，其值用电压负序分量与正序分量的均方根值之比的百分数 ϵ_U 表示，即

$$\epsilon_U = \frac{U_-}{U_+} \times 100\%$$

式中 U_+ 、 U_- ——分别为三相电压正序分量和负序分量的均方根值，V。

我国标准规定,电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为2%,短时不得超过4%。实际电力系统电压不平衡度指标,在空间和时间上均处于动态变化之中,从整体上表现出统计的特性,因此标准中规定用95%概率值作为衡量值,就是说,标准中规定的“正常电压不平衡度允许值2%”是在测量时间95%内的限值,而剩余5%时间可以超过2%,但最大不得超过4%。标准规定了每个用户电压不平衡度一般限值为1.3%。

(6) 电压骤降。电压骤降指供电电压的有效值短时间暂时下降的现象,也称电压暂降。根据欧洲标准 EN50160 以及美国国际电气电子工程师协会推荐标准 (IEEE Std1159—1992), 供电交流电压有效值突然降至额定电压的90%~10%, 然后又恢复至正常电压, 这一过程的持续时间为10ms~60s, 称为电压骤降。

引起电压骤降的原因主要是电网或用电设备发生短路故障。供电可靠性反映的是供电中断程度,一般只考虑持续时间1~3min以上的电压中断问题,而短时的供电中断,在系统中是经常发生的。如:一些用电设备(如电动机)启动或突然加荷,也会造成电网电压短时下降;当线路发生瞬时性故障时,从断路器跳闸到重合成功这段时间内,线路上用电设备将失去电源;系统的倒闸操作、线路故障区段的自动隔离等也会引起供电的瞬时中断。与长时间供电中断事故相比,电压骤降具有发生频度高、经历时间短、事故原因不易觉察的特点。

电压骤降会引起敏感控制器不必要的跳闸,造成计算机系统失灵、自动化控制装置停顿或误动、变频调速器停顿等;引起接触器跳开或低压保护启动,造成电动机、电梯等停顿;引起金属卤化物类光源(碘钨灯)熄灭等。因此,电压骤降会给工商业带来很大的经济损失,甚至会危害人身及社会安全。

3. 配电网运行的经济性

电能生产的规模很大,在其生产、输送和分配过程中,本身消耗的能源占能源中相当大的比例。最大限度地降低每生产1kWh电能所消耗的能源和降低输送、分配电能过程的损耗,是电力企业的一项极其重要的任务。电能成本的降低不仅意味着能源的节省,还将降低各用电部门的成本,给整个国民经济带来很大的好处。

因此,从国家电网公司、省电力公司到供电公司,层层制定线损管理办法,各供电公司每年根据不同的线路和台区制定不同的降损考核指标。由于管理的加强,伴随配电网络的完善、线路和设备的更新改造,配电网络的线损率在逐年下降。

五、配电网发展趋势

随着社会对供电质量要求的不断提高,配电网在整个电力系统的作用日显重要,配电网规划、建设与运行管理的理念发生了很大变化,展望配电技术的发展,有以下趋势:

(1) 配电网的电压等级随着电力系统的发展而不断提高。在提高电压等级的同时,出现了减少电压层次的趋势,其目的是减少配电网的建设与管理的复杂程度,提高运行管理水平与经济性。我国中压配电网电压普遍采用10kV电压等级,部分发达地区开始采用20kV;高压配电线路电压等级则上升到110kV(或63kV),在负荷密度特别大的城市里,220kV电压被列为高压配电电压。

(2) 配电网结构逐步完善。早期配电网络以放射形为主,随着对供电可靠性与灵活性要求的提高,配电网络接线向简化和高可靠性发展,逐步发展为今天的环形接线和多分段多联络结构为主。例如,高压配电网接线采用线路-变压器单元,取消高压侧断路器,在故障时跳开送端断路器;中压配电网采用环网分段“手拉手”结构,实施馈线自动化,加快故障处