

主编 李天友 副主编 金文龙 徐丙垠 王之珮

配电技术



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

配电技术

主编 李天友 副主编 金文龙 徐丙垠 王之珮



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统介绍配电技术知识,共分十一章,主要介绍配电系统及其发展、供电质量要求及供电可靠性,配电系统技术基础知识,配电网规划,配电网络及其设备,过电压防护及绝缘配合,配电网继电保护与安全自动装置,配电自动化,配电系统运行管理、检修管理、不停电作业以及分布式发电及其并网技术。书中涉及的理论问题与知识以讲解物理概念、现实应用为主,注重实践经验的总结,融入当今配电领域的新技术、新发展成果。

本书主要供供电技术人员阅读,可作为电网企业、工矿企业及其规划设计部门中从事配电技术与管理人员的业务培训和工作参考书,还可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

配电技术/李天友主编. —北京:中国电力出版社,
2008

ISBN 978-7-5083-6219-9

I. 配… II. 李… III. 配电系统-技术 IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 169202 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 677 千字
印数 0001—3000 册 定价 52.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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



序

改革开放以来,电力系统不断发展、扩大,电网传输和配送电力的能力及其技术水平迅速提高,发挥了支撑国家经济持续快速发展的基础作用。近年来,在国家和有关部门的领导和支持下,电网企业实施了大规模城乡电网建设与改造,基本上扭转了用电与电能质量供求不协调的局面,电网安全性与经济性逐步改善。

但是,在当今我国社会主义市场经济深入发展,工业化特点明显,城镇化加速以及环境与资源制约刚性越来越强的形势下,直接面向用户的配电网的发展依然面临着新的挑战:要满足持续走高的用电需求和越来越严格的供电可靠性要求;要相应保障用户端的电能质量、降低配电网损耗,提高电网和企业运营的经济性;要努力降低配电系统建设占地;要把配电网建设成环境友好的配电网;要更好地履行服务于国家经济发展和人民生活质量提高的社会责任。运行统计表明,目前用户绝大部分停电概率(包括计划停电或故障停电)是在配电系统环节,电网近一半的电能损耗发生在中、低压配电网中。因此,要进一步改善供电质量、保障安全稳定运行和提高电网经济效益,必须在配电系统下足工夫,要从规划建设、设备运行、技术改造、保护控制到运营管理诸多环节,精心总结经验,积极采用先进技术,全面提升业务水平,强化继续教育,提高岗位素质。

恰恰是在这一历史条件下,《配电技术》出版了。该书系统地介绍了现代配电网技术与管理知识,实践性强。它总结了我国多年来在配电系统规划、生产实践方面的经验和规律性的认识,同时高度概括了国内外当前配电技术在提高电能质量、供电可靠性、发展分布式发电联网运行等方面的前沿成果和现状,十分适应我国配电系统快速发展的需要。该书编著者都是长期从事配电系统运行、规划管理和设备保护与控制技术研发、应用的高级工程师或教授。他们多次作为中国电机工程学会组团成员参加了欧洲国际供电会议(CIRED)或组织、参加国内供电专业学术会议并进行交流,对配电系统新技术及其发展趋势有较深入的了解。相信该书的出版能为广大从事配电网技术研发与规划、运营管理工作、广大学会会员与工程师的继续教育和高等院校相关专业师生提供有益的帮助,共同促进我国配电系统稳步发展和提高。

陆心舟
2008

前 言

2001年6月,中国供电代表团一行十几人参加了在荷兰阿姆斯特丹举行的第16届国际供电会议(CIRED)。会上交流、展出的配电新理念、新技术、新设备给代表们留下了深刻的印象。大家认为,发达国家高度重视提高供电质量与经济效益和配电系统的建设与管理,在电能质量、配电自动化、分布式发电等领域展现了崭新的面貌;随着我国经济的迅速发展和人们生活水平的提高,对供电质量也提出了新的更高的要求,直接连接着用户的配电系统更是面临着许多新课题。因此在加强配电系统建设、改造的同时,借鉴发达国家的经验,促进配电技术进步与管理,应当是我国电力技术发展的一大主题。

讨论一直延续到归国途中,大家认为,我国多年来,电力工业迅速发展,技术进步很快,在电力的发展研究与教育方面一直侧重于发电与输电技术,而对配电技术的系统研究、总结较少,从事配电系统工作的管理人员、技术人员对此都深有体会。不少新毕业的或新转入配电管理岗位的工程技术人员,对配电技术感到陌生,碰到一些实际问题,往往踌躇蹉跎。因此,亟须编撰一本能够较系统介绍配电系统规划建设与运行管理知识以及配电新技术、新设备发展趋势的读本,帮助从事研发与运行管理的人员较完整地掌握配电技术知识、了解配电领域新动向,以推动我国配电技术的发展。

这些认识拨动了许多热心人的心弦。编写这样一本书,也是配电领域科研、运行管理人员的夙愿。如果能将这一工作启动,把书写出来,对促进我国配电技术的发展进步及业务培训是一件十分有意义的工作。这些动意得到了一些资深供电专家的鼓励,在中国电机工程学会、中国电力出版社的支持下,2002年4月组成了“配电技术”编写组,正式启动了编撰工作。

本书的作者多年从事配电技术研发与配电系统运行技术管理工作,具有理论基础和实际工作与现场实践经验,对国内外配电新技术、新设备以及先进的配电系统运行管理经验有着比较系统、深入的了解。本书的第1、2、6、7、11章由徐丙垠教授为主编写,第3章由金文龙教授级高工为主编写,第4章由陈效杰教授级高工、李天友高工为主编写,第5章由王之佩教授级高工为主编写,第8章由李建胜高工为主编写,第9、10章由李天友高工为主编写;孙秉正高工参加了第6章的编写工作。李天友、金文龙、徐丙垠对全书进行了审阅和统稿。

本书介绍配电系统技术和管理知识,力求系统表达现代配电成熟技术,注重系统性、实用性、前瞻性以及实践经验的总结,融入当今国内外配电技术的新发展、新思路。书中理论

与技术问题以讲解物理概念与应用为主，尽量避免繁琐的数学推导；文字力求通俗易懂，贴近实际，便于阅读自学。

本书编写过程中得到了许多专家、工程师的帮助，资深供电专家陈警众、屠三益等对本书的编写提出宝贵意见，福建泉州电业局黄丽亚高工等提供了宝贵资料，在此一并表示衷心感谢！

本书的编撰虽历经五年时间，且经过多次讨论修改，但鉴于配电新技术、新概念不断发展，又限于编者的水平，因此相信书中还有不少待改进的地方。现书已经交付出版，敬请读者在阅读过程中多提宝贵意见和建议，待将来再版或修订时修正！衷心期望这本书能对广大配电工程技术人员有所裨益！

编 者

2007 年 9 月

目 录

序 前言

1 概论	1
1.1 电力系统与电力网	1
1.2 配电系统的基本概念	3
1.3 供电质量	7
1.3.1 供电可靠性(7) 1.3.2 电能质量(8) 1.3.3 定制电力(12)	
1.4 用户与电力负荷	14
1.4.1 用户及其分类(14) 1.4.2 电力负荷及其分类(15)	
1.5 配电技术的发展	16
1.5.1 配电系统及其装备的发展(16) 1.5.2 配电网的运营管理与电力体制改革(17)	
1.5.3 配电技术发展趋势(18)	
2 配电系统技术基础	20
2.1 配电系统元件	20
2.1.1 变压器参数和等效电路(20) 2.1.2 线路参数和等效电路(22) 2.1.3 标幺值(24)	
2.2 配电系统潮流与线损	26
2.2.1 潮流计算(26) 2.2.2 功率损耗(29) 2.2.3 电压损失(30)	
2.3 无功功率平衡与电压调整	31
2.3.1 无功功率平衡的基本概念(31) 2.3.2 电压调整(31) 2.3.3 无功功率补偿(32)	
2.4 配电系统中性点接地方式	33
2.4.1 中性点有效接地方式(34) 2.4.2 中性点非有效接地方式(34) 2.4.3 配电系统中性点接地方式的选择(36)	
2.5 短路电流计算	39
2.5.1 配电系统短路故障(39) 2.5.2 三相对称短路电流计算(40)	
2.6 不对称故障分析和小电流接地故障分析	42
2.6.1 对称分量法和序阻抗(42) 2.6.2 不对称短路分析(44) 2.6.3 小电流接地故障分析(47)	
2.7 行波和电磁暂态计算程序 EMTP	52
2.7.1 电力线路上的行波(53) 2.7.2 电磁暂态计算程序 EMTP(55)	
3 配电网规划	58
3.1 概述	58
3.1.1 编制配电网规划的目的和任务(58) 3.1.2 配电网规划范围及分期(58) 3.1.3 编制规划的基本资料依据(59) 3.1.4 编制配电网规划的内容和步骤(60) 3.1.5 规划的编制、实施与修订(62)	

3.2 配电网评估	63
3.2.1 评估目的(63) 3.2.2 评估内容(63) 3.2.3 基本评估方法(72)	
3.3 配电网发展思路和规划设计技术原则	74
3.3.1 配电网发展思路(74) 3.3.2 制定配电网规划目标(75) 3.3.3 规划设计技术原则重点内容(77)	
3.4 负荷预测	92
3.4.1 负荷预测基本任务与内容(92) 3.4.2 负荷预测方法(97) 3.4.3 需电量预测(106) 3.4.4 电力需求预测(110) 3.4.5 负荷预测基本程序(112)	
3.5 高、中压配电网规划	112
3.5.1 电力平衡与变电容量估算(113) 3.5.2 变电所布局及容量配置(114) 3.5.3 配电网规划(115) 3.5.4 无功功率补偿及其配置(117) 3.5.5 电气计算(118)	
3.6 投资估算与经济评价	120
3.6.1 投资估算(120) 3.6.2 经济评价(120)	
3.7 配电网计算机辅助规划系统	122
3.7.1 概述(122) 3.7.2 计算机辅助规划系统的基本功能(123) 3.7.3 计算机辅助规划系统的实用化(123)	
4 配电网及其设备	125
4.1 配电网结构	125
4.1.1 配电网的供电网架(125) 4.1.2 高压配电网接线(125) 4.1.3 中压配电网接线(127)	
4.1.4 低压配电网接线(131)	
4.2 变电所及其主要设备	132
4.2.1 变电所电气主接线(132) 4.2.2 变电所的平面布置(135) 4.2.3 变电所的主要一次设备(137) 4.2.4 变电所的二次回路及所用电(151) 4.2.5 变电所的防雷与接地(153)	
4.3 配电线路	154
4.3.1 高压架空配电线路(154) 4.3.2 中压架空配电线路(155) 4.3.3 低压架空配电线路(156) 4.3.4 配电电缆线路(156)	
4.4 中压配电所与配电设备	161
4.5 配电装置的环保和消防措施	167
4.5.1 变电所的环保措施(167) 4.5.2 变配电设备的电磁辐射(168) 4.5.3 变电所的消防措施(170) 4.5.4 电缆的防火措施(171)	
5 过电压防护及绝缘配合	172
5.1 雷电过电压及防护	172
5.1.1 雷电过电压的基本概念和参数(173) 5.1.2 防雷保护装置(176) 5.1.3 架空线路防雷(181) 5.1.4 变电所防雷保护(185) 5.1.5 中压配电设备的防雷(187) 5.1.6 防雷技术管理(189)	
5.2 内过电压及防护	190
5.2.1 内过电压的基本概念(190) 5.2.2 操作过电压(191) 5.2.3 谐振过电压(194)	
5.3 配电网绝缘配合	199
5.3.1 绝缘配合基本概念(199) 5.3.2 绝缘配合方法(199) 5.3.3 电气设备的绝缘水	

平(200) 5.3.4 架空线路绝缘水平(200)	
5.4 接地与接地装置	202
5.4.1 接地的基本知识(202) 5.4.2 配电系统电气装置的接地型式(203) 5.4.3 接地装置及其运行维护(204)	
6 配电网继电保护与安全自动装置	208
6.1 概述	208
6.1.1 对继电保护的基本要求(208) 6.1.2 继电保护的基本原理(209) 6.1.3 继电保护装置的构成(210) 6.1.4 配电网继电保护的特点与发展(214)	
6.2 电流保护	215
6.2.1 三段式电流保护(216) 6.2.2 反时限过电流保护(219) 6.2.3 方向电流保护(220)	
6.3 中性点有效接地配电网零序电流保护	223
6.4 距离保护	226
6.4.1 距离保护的工作原理(226) 6.4.2 阻抗继电器(226) 6.4.3 三段式距离保护(229) 6.4.4 影响距离保护正确工作的因素及防止方法(230)	
6.5 线路纵联保护	231
6.5.1 电流差动保护工作原理(232) 6.5.2 电流差动保护的构成(233)	
6.6 变压器纵联电流差动保护	234
6.6.1 工作原理(234) 6.6.2 变压器差动保护的不平衡电流及消除方法(235) 6.6.3 变压器差动保护的整定计算原则(237) 6.6.4 微机变压器差动保护(237)	
6.7 中性点非有效接地配电网单相接地保护	238
6.7.1 利用稳态信号的小电流接地保护(239) 6.7.2 利用暂态信号的小电流接地保护(241) 6.7.3 瞬时性接地故障与配电网绝缘状态监测(243)	
6.8 微机继电保护算法	244
6.9 配电网继电保护的配置	246
6.9.1 变压器保护配置(246) 6.9.2 配电线路保护配置(247) 6.9.3 电容器组保护配置(248)	
6.10 变电所安全自动装置	249
6.10.1 自动重合闸装置(249) 6.10.2 自动低频减载装置(250) 6.10.3 低压自动减载装置(251) 6.10.4 备用电源自动投入装置(252)	
7 配电自动化	254
7.1 概述	254
7.1.1 配电自动化的功能(254) 7.1.2 配电自动化系统(256) 7.1.3 配电自动化的作用(258) 7.1.4 配电自动化技术的发展(260)	
7.2 配网自动化系统	261
7.2.1 配网自动化系统的构成(261) 7.2.2 DAS主站(262) 7.2.3 SCADA系统功能(266) 7.2.4 高级DA应用功能(268)	
7.3 变电所自动化系统	269
7.3.1 系统功能(270) 7.3.2 系统结构(271) 7.3.3 通信方式(273) 7.3.4 生产过程层与单元层之间的串行通信接口技术(274)	
7.4 馈线自动化	275

7.4.1	FA 系统的控制方式(275)	7.4.2	小电流接地故障的定位(279)	7.4.3	FA 系统控制主站(279)	7.4.4	与地区调度自动化系统、变电所自动化系统的配合(280)	
7.5	配电自动化终端							281
7.5.1	线路监控终端 FTU(281)	7.5.2	配电变压器监测终端 TTU(283)					
7.6	配电自动化通信通道							284
7.6.1	通信介质(284)	7.6.2	专线通道(285)	7.6.3	同步数字体系(287)	7.6.4	数据通信网络(288)	7.6.5 配电自动化通信通道的选择(291)
7.7	配电自动化通信协议							292
7.7.1	基本概念(292)	7.7.2	IEC 系列配电自动化通信协议(293)	7.7.3	其他通信协议(297)			
7.8	配电地理信息系统							298
7.8.1	配电地理信息系统的构成(298)	7.8.2	配电 GIS 与 SCADA/DAS 的集成(299)					
7.8.3	配电地理信息系统的功能(300)							
7.9	开放式配电自动化系统集成新技术							303
7.9.1	开放式系统(303)	7.9.2	开放式系统集成技术(304)					
7.10	配网自动化工程实例							306
7.10.1	绍兴配网自动化系统(306)	7.10.2	香港中华电力公司配网自动化工程(309)					
8	配电系统运行管理							311
8.1	概述							311
8.1.1	运行管理的基本任务(311)	8.1.2	运行管理的主要内容(311)					
8.2	配电系统的调度运行与管理							312
8.2.1	配电系统调度简介(312)	8.2.2	配电系统的调度运行管理(313)	8.2.3	配电网的倒闸操作(313)	8.2.4	调度自动化系统的运行与管理(314)	8.2.5 电力通信的运行与管理(315)
8.2.6	电力市场下的调度管理(316)							
8.3	配电系统设备运行管理							317
8.3.1	设备的技术管理(317)	8.3.2	变电设备运行管理(320)	8.3.3	架空线路的运行管理(322)	8.3.4	电力电缆线路的运行管理(326)	
8.4	配电系统的可靠性管理							328
8.4.1	用户供电可靠性管理(328)	8.4.2	配电设备可靠性管理(332)					
8.5	配电网的电能质量管理							336
8.5.1	电能质量管理概述(336)	8.5.2	电能质量监测(337)	8.5.3	电能质量的控制与治理(339)	8.5.4	电能质量的监督管理(341)	
8.6	配电网线损管理							342
8.6.1	配电网线损的理论计算(342)	8.6.2	配电网线损的统计(346)	8.6.3	配电网线损的管理与降损措施(346)			
8.7	配电系统的防灾管理与城市供电应急管理							348
8.7.1	必要性(348)	8.7.2	配电系统防灾与供电应急管理的主要内容(349)	8.7.3	提高配电系统防灾与供电应急能力的相关措施(350)			
9	配电系统的检修管理							352
9.1	概述							352
9.2	电气设备预防性试验							353

9.2.1 电气设备预防性试验方法与项目(353)	9.2.2 绝缘电阻、吸收比、极化指数的测量(354)	9.2.3 泄漏电流试验和直流耐压试验(356)	9.2.4 交流耐压试验(357)	9.2.5 介质损耗试验(357)	9.2.6 绝缘油试验与分析(358)	9.2.7 六氟化硫设备的现场测试(359)	9.2.8 变压器绕组变形测试(360)	
9.3 定期检修								361
9.3.1 架空线路的定期检修(362)	9.3.2 变电设备的定期检修(362)	9.3.3 电缆线路的定期检修(364)	9.3.4 定期检修的评价(369)					
9.4 状态检修								370
9.4.1 电气设备监测与诊断技术(370)	9.4.2 电气设备的状态评估(375)	9.4.3 电气设备状态信息管理系统(381)						
9.5 检修策略								383
9.6 检修的组织管理								386
10 配电不停电作业								387
10.1 概述								387
10.2 带电作业基础知识								387
10.2.1 电对人体的影响(388)	10.2.2 带电作业基本方法(388)	10.2.3 相关的基本概念(390)						
10.3 带电作业工器具与管理								392
10.3.1 常用带电作业工器具(392)	10.3.2 带电作业工器具的试验(394)	10.3.3 带电作业工器具的保管(395)	10.3.4 绝缘斗臂车(396)					
10.4 高压架空配电线路的带电作业								397
10.5 变电带电作业								400
10.6 中低压配电带电作业								404
10.6.1 中压配电带电作业方式及特点(404)	10.6.2 中压配电带电作业项目(406)	10.6.3 中压配电带电作业技术的发展(408)	10.6.4 低压配电带电作业技术要点(409)					
10.7 旁路作业法和移动电源法								409
10.8 不停电作业技术组织管理								411
11 分布式发电及其并网技术								413
11.1 分布式发电的基本概念与发展								413
11.2 分布式发电技术简介								416
11.2.1 热电联产(416)	11.2.2 小水电(418)	11.2.3 风力发电(418)	11.2.4 太阳能光伏发电(420)	11.2.5 燃料电池(421)				
11.3 分布式电源并网的技术问题								422
11.3.1 分布式电源并网方式与基本技术要求(422)	11.3.2 分布式电源接入点的选择(423)	11.3.3 电压变化问题(424)	11.3.4 继电保护问题(425)	11.3.5 短路电流水平的限制(427)	11.3.6 对配电网供电质量的影响(427)	11.3.7 对配电网运行管理的影响(428)	11.3.8 分布式电源并网的技术标准(428)	
11.4 分布式发电对配电网规划建设与经营的影响								429
参考文献								430

1 概 论

本章在介绍电力系统与电网的基本概念与构成的基础上，阐述配电系统的定义、作用、构成以及配电网的分类，使读者对配电系统有个基本的了解；介绍供电质量、用户与电力负荷的基本概念以及配电技术的发展简史与趋势，以便于读者阅读本书后续章节，深入、全面地了解配电系统的规划设计、运行控制与管理等知识。

1.1 电力系统与电力网

一、电力系统基本概念

为了经济有效地将发电厂生产的电能送往城乡工矿企业、农业、商业、居民等电力用户，需采用高电压线路输送电力。在发电厂端需经升压变压器将电压升高，而在用电端经降压变压器逐级降压，再将电力分送到广大用户。这种由发电厂的发电机、升压变电所、输电线路、降压变电所、配电线路、用电设备以及相应的保护、测量控制设备有机构成的整体叫做电力系统，如图 1.1 所示；把发电厂的锅炉、汽轮机、水轮机、核反应堆等动力部分也包括在内，称为动力系统。

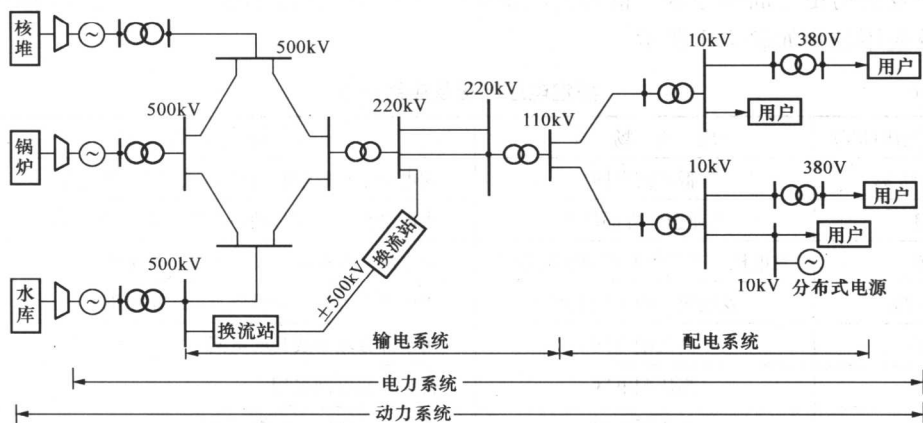


图 1.1 电力系统构成示意图

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、断路器、无功补偿装置等称为一次设备。一次设备是经受高电压、强电流的，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。

二、电力网

由不同电压等级的变电所和电力线路连接成的汇集、输送、变换和分配电能的网络称为

电力网（简称电网）。对于图 1.1 给出的电力系统构成示意图来说，它是不包括发电厂与用电设备的那一部分。电力网可分成输电网与配电网两部分。远离负荷的大型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所。输电线路距离都比较大，有的数十、数百千米，甚至达千千米以上。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，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，把若干大电厂、枢纽变电所连接起来，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所连接起来，形成输电网受端网架。对城市电力网来说，输电网受端网架也称为城市供电网架，见图 4.1、图 4.2。我国输电网有交流 220、330、500kV 及以上电压等级，并有多条±500kV 直流输电工程投入运行。2005 年我国第一条 750kV 输电线路已在西北电网投运。2006 年，我国第一条 1000kV 特高压交流试验示范工程正式开工，±800kV 大容量直流输电工程也开工建设，逐步形成全国联合电力系统。

配电网是指连接并从输电网受端网架受电，向一个地区供给和配送电能的电力网。在我国，配电网通常包括 110kV 及以下电压变电所、配电线路和配电设备等。关于配电网的介绍见 1.2 节。

三、电力系统额定电压

电力系统电压等级由国家规定，称为系统额定电压。额定电压通常以电压正弦波有效值标志。电力系统中的发电机、变压器、电力线路等电气设备都是按规定的系统额定电压或与运行工况条件相应的设备额定电压校准设计、制造的，以便在技术经济上能够合理地匹配选用。由于发展历史方面等原因，世界各国采用的电压等级标准不尽相同。我国目前通用的电压等级及应用场合如表 1.1 所示。

表 1.1 额定电压等级及应用场合

额定(线)电压(kV)	应 用 场 合	应 用 举 例
0.38/0.22	低压配电网	供电给中小容量动力设备、照明及家电等
3	工业企业内部使用	供电给大、中容量动力设备及低压用电设备
6	发电机、工矿企业内中压配电网	供电给大容量动力设备及低压配电网
10 (20)	发电机、中压配电网	供电给大容量动力设备及低压配电网
35	高压配电网	用于部分城市及县配电网
66	高压配电网	我国东北电网采用
110	高压配电网	城市（或分区）配电网普遍采用
220	高压输电网	作为省输电网或城市供电网架
330	超高压输电网	作为西北跨省及省内（或大城市）输（供）电网架
500	超高压输电网	作为全国跨省、区及省输电网
750	超高压输电网	作为西北跨省及省输电网架

用电设备运行容许的电压偏移一般为额定电压的±5%。线路的沿线电压降落一般在10%以内，因此，要求始端电压为1.05×额定电压，以使末端电压不低于0.95×额定电压。

四、电力系统运行的特点

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

是:

(1) 电能不能储存。电能的生产、输送、分配和使用可以说是在同一时刻完成的。目前的技术还不能将电能大量地储存。发电厂在任何时刻发出的电能等于该时刻用户用掉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) 暂态过程非常迅速。电力系统电压、电流的变化以电磁波的形式在电力网中传播,传播速度为 300km/ms 。发电机、变压器、线路、用电设备的投入或退出运行所引起的电压、电流的变化,都在一瞬间完成,故障的发生和发展过程都十分短暂。

(3) 对电能质量和电力供应可靠性要求严格。电力系统运行工况和整个国民经济及社会生活秩序关系密切,影响重大。电能具有使用灵活、控制方便、清洁等优点,在国民经济各环节中广泛使用,现代社会的生产、生活,几乎一刻也离不开电,电能供应不足、中断或质量不高都会造成巨大的经济损失和社会影响。

五、对电力系统的基本要求

(1) 供电安全、可靠。用户供电中断,会使生产停顿、社会秩序混乱,甚至危及人身和设备的安全,造成很大的经济损失和社会影响。停电给国民经济造成的损失远大于电力系统少售电造成的损失。因此,电力系统运行的首要任务是满足用户对供电安全、连续、合格、可靠的要求。

(2) 供电质量合格。供电电压、频率以及波形符合国家规定;同时,为用户提供满意的服务。

(3) 降低运行成本。电能生产的规模很大,消耗大量一次能源,在电能生产与输送、分配过程中应力求节约,减小消耗,降低设备维修成本,最大限度地降低供电成本。

(4) 降低对环境的负面影响。在电能生产、输送、分配、消费过程中,总是会伴生大量的排放物,如废气、废水、废渣及噪声、电磁污染等。因此,电力企业应遵照环保要求对“三废”进行无害化处理,抑制噪声和电磁污染,最大限度地降低对环境的负面影响。电力设施的建设要尽量减少对土地的占用,且要做到与周围环境相协调。

1.2 配电系统的基本概念

连接并从输电网(或本地区发电厂)接收电力,就地或逐级向各类用户供给和配送电能的电力网称为配电网。配电网设施主要包括配电变电所、开闭所、配电所、配电线路、断路器、负荷开关、配电(杆上)变压器等。配电网及其二次保护、监视、控制、测量设备组成的整体称为配电系统。对配电系统的基本要求是供电安全、可靠,电能质量合格,投资合理,运行维护成本低,电能损耗小,配电设施与周围环境相协调。

一、配电系统的构成

1. 配电网

我国配电网供电范围基本上按行政建制地级城市和县(市)所辖的管理区域划分;少数地区,有跨行政区域供、受电的,但销售量及收入仍按管辖行政区域分归统计。习惯上,我国对配电网有多种称谓,根据所在地域或服务对象的不同,配电网可分为城市配电网与农村配电网;根据配电线路类型的不同,可分为架空配电网与电缆配电网;根据电压等级的不

同,可分为高压配电网、中压配电网、低压配电网。高压配电网的电压一般采用 110、35kV,东北地区使用 66kV,个别负荷密度大的大城市采用 220kV 电压;中压配电网的电压是 10kV [个别地区使用 20kV,大用户(企业)配电系统有时采用 6kV];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 配电。

图 1.2 给出了电力系统各级电压电力网之间的关系,标出了输电网与配电网划分示意,两者之间的分界点是超高压变电所的低压侧母线,而配电网与用户的分界点是用户进线处(产权分界点)。发电厂发出的电力由输电网送到超高压/高压变电所(简称 $\times\times\times$ kV 超高压变电所或 EHV/HV 变电所),超高压变电所给高压配电网供电;连接在高压配电网的高压/中压(HV/MV)变电所分别向中压配电网供电。大用户(企业)可由高压配电网或中压配电网直接供电,大量的居民、商业等普通用户连接到低压配电网,并由连接在中压配电网上的中压/低压(MV/LV)配电所供电。

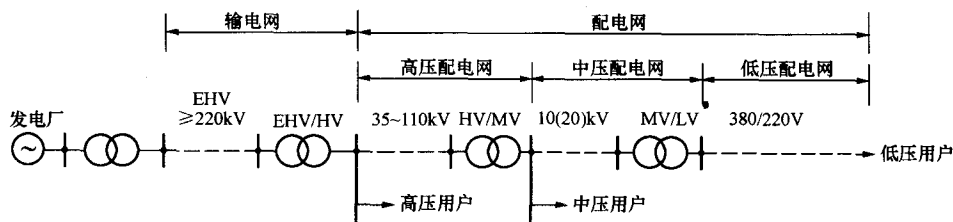


图 1.2 输电网与配电网划分示意图

关于配电网及其设备的详细介绍见第 4 章。

2. 配电网二次系统

配电网二次系统也是配电系统重要的组成部分,完成配电网的保护、测量、调节、控制功能。配电网二次系统与配电网一次设备配合,保证配电网安全、可靠、经济地运行和供电质量满足应用的要求。

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;在配电网出现不正常运行状态时(如非有效接地系统的单相接地故障),发出指示信号通知运行人员,以及时采取应对措施。自动控制指的是备用电源自投、重合闸、电压无功自动控制、自动低频低压减载等功能,其作用是避免不必要的供电中断,并且保证电力系统的频率、电压合格和稳定运行。在传统的变电所二次系统设计中,各种继电保护装置、自动装置各自独立设置。随着变电所综合自动化技术的发展,现已广泛使用集继电保护、自动控制、测量、通信功能等于一体的微机保护监控装置,使二次回路的设计更为简单、优化,功能也更为完善。关于配电网继电保护及自动控制装置的详细介绍见第 6 章;变电所综合自动化技术的介绍见 7.3 节。

(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。最早的监控系统是通过布线逻辑来

实现的,功能比较单一。计算机的应用使远动系统的功能更为丰富、完善,逐步发展成为数据采集与控制系统,即 SCADA 系统。近年来,随着计算机及通信技术的发展,配电网远程监控系统的面貌发生了根本性的变化,在高级应用功能方面,开发出馈线自动化系统,以 SCADA 系统为基础,实现中压线路故障点的自动定位、隔离以及非故障区段的恢复供电。近年来,计算机在配电管理中获得了广泛的应用,以地理信息系统(GIS)为基础,实现配电网规划设计、生产管理、用电管理的信息化,形成了自动绘图/设备管理/地理信息系统(AM/FM/GIS),简称配电 GIS。配电 GIS 也是为配电网的运行及管理服务的,它与 SCADA 系统、馈线自动化系统、变电所自动化系统集成,构成配电管理系统(DMS),实现配电网运行及管理的综合自动化。关于远程监控与管理信息系统的介绍见第 7 章。

(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。现代计量系统由安装在电能表箱的电能量采集终端、通信通道(无线电、电力线载波、电话)、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。自动抄表与电能量管理是实现配电自动化的一项重要内容。计量系统的进一步介绍见第 7 章。

二、配电系统管理

良好的管理,是使配电系统安全经济运行、保证用户供电可靠性与电能质量的重要工作。从分布地域及运行管理而言,配电系统管理与输电系统管理有着很大的不同,可以由多个独立的电网运营机构负责。在我国,配电系统的管理一般由省级电网企业隶属的地、市供电企业或分部来承担的。在实行输配分开的国家里,配电系统管理可以由具有独立法人资格的配电网运营公司负责。

本书配电系统管理主要介绍配电系统规划设计、运行管理和配电设备检修等内容。

(1) 配电系统规划设计,指编制配电系统在未来一段时期内发展和改造的规划,以指导配电工程项目的建设、改造,建设结构合理、安全可靠、运行灵活、节能环保、经济高效的配电网,既能稳定地满足用电需求,提供安全可靠、电能质量合格的电力,又做到投资合理、电能损耗小、运行维护成本低,实现电网企业自身的可持续发展。配电系统规划设计包含原有配电网的扩建改造和兴建新的配电网两个方面。配电网规划需要与城市的各项发展规划协调、配合,落实变电所所址和线路走廊(包括地下通道)及市内供电设施用地。配电网规划还应与上级输电网规划相协调,实现各级变电容量相协调、有功容量与无功容量相协调、二次规划与一次规划相协调,控制各级电压短路电流在合理范围,使输、变、配电建设规模和投资规模经济合理,取得更好的社会效益和企业效益。配电网规划工作可以借助计算机辅助规划系统,提高规划设计工作效率和水平。关于配电系统规划的介绍见第 3 章。

(2) 配电系统运行管理,指通过调度及用户用电管理等手段,使配电设备能安全、经济、可靠、持续的运行,完成所承担的供电任务,满足用户的用电需求,并在运行中建立及时、有效的运行信息,为运行人员调控设备提供资料和依据。配电系统运行管理包括配电调度管理、设备运行管理、线损管理、电能质量管理、可靠性管理等。配电系统运行管理是保证配电网安全可靠运行的重要环节。关于配电系统运行管理的详细介绍见第 8 章。

(3) 配电系统的检修, 指为保证配电设备健康、安全可靠运行而采取的检测、维修工作。随着技术的进步, 检修方针不断改革, 特别是近年来随着电气设备状态监测与诊断技术的提高, 为减少配电设备检修而引起的停电, 避免过度检修给其带来危害, 过去采用的以定期检修为主的检修方式正在逐步被状态检修(或状态维修)方式所取代。传统的配电设备检测、检修方式, 大多需要停电进行, 为提高供电可靠性, 不停电检修日益受到供电企业的重视。关于配电设备检修的介绍见第9章; 带电检修与不停电作业的介绍见第10章。

三、配电系统及其管理的特点

(1) 配电系统服务于一个地区, 不像输电系统那样跨区域甚至跨国界互联。

(2) 配电网一般采用辐射形或环形(开环运行)接线, 配电网故障一般仅造成所供负荷的短时停电, 不像输电网那样, 需要考虑双(多)电源供电带来的保护与稳定问题。

(3) 配电系统直接与用户连接, 一旦故障直接影响用户, 同时, 用户设备故障也直接影响配电系统的安全。

(4) 配电系统的一次设备是城乡市政设施的组成部分且大部分分布在户外, 受外界干扰、人为外力损坏几率高。

(5) 一般情况下, 配电网保护、控制装置的配置相对要简单一些, 技术性能、功能要求也相对低一些。例如允许继电保护装置延时动作切除配电线路末端的故障; 而输电线路上任何一点发生故障时, 都要求继电保护装置迅速无延时动作。

(6) 配电网设备众多、星罗棋布, 标准化程度低; 城市配电网广泛使用电缆线路, 运行接线多变, 大量的使用T接接线; 受城乡市政建设、发展的影响, 网络结构与设备变动频繁; 为了减少投资, 中、低压配电网备用容量有限, 一般难于保证在出现故障时用户供电不受影响。

(7) 配电系统管理业务综合性很强, 不像输电系统管理那样有着很细的专业分工。所有这些, 使配电系统的规划、建设改造、保护控制与运行管理有着不同于输电系统的特殊性与复杂性。随着分布式发电技术的发展, 将有越来越多的小型分布式电源接入配电网, 又会带来一系列需要解决的新问题。

配电系统直接面向用户, 是控制、保证供电质量的关键环节。配电网运行是影响用户供电可靠性的主要环节, 电力用户目前遭受的停电如果不考虑因发电量不足因素, 绝大部分是由于配电系统造成的。我国2003年和2004年供电可靠性统计表明, 扣除系统容量不足限电因素, 因配电系统各环节(含故障与检修等)造成的用户平均停电时间, 共占总用户平均停电时间的96%左右, 而输变电环节造成的仅占4%左右。根据英国伦敦电网公司提供的资料, 1994~2001年, 伦敦地区因配电系统各环节造成的用户平均停电时间占总平均停电时间的95%以上。在保证电压质量方面, 配电系统是一个重要的环节。运行统计表明: 用电高峰时配电系统末端用户电压往往偏低, 而在下半夜时靠近变电所的用户电压往往偏高。在投资和运行经济性方面, 配电系统对电力系统的影响举足轻重。一般来说, 配电系统的投资占整个电力系统(包括发电)投资的25%~40%左右, 电网近一半电能损耗发生在中低压配电网。因此, 要进一步提高供电质量与电力系统经济效益, 必须在配电系统上下功夫, 从规划、建设改造到运行、检修管理等诸环节加强技术创新与管理工作。