



“十三五”普通高等教育规划教材

CHENGSHI DIANWANG GONGPEIDIAN XITONG

城市电网供配电系统

祝 贺 主 编
庚振新 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

城市电网供配电系统

主 编 祝 贺
副主编 庚振新
编 写 王 娜 王泽洋
主 审 徐建源



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

全书共分十章，主要内容有配电网规划与设计、配电系统负荷预测、配电网供电可靠性与电压合格率、配电网损耗及无功补偿、短路电流计算、配电变压器、配电网防雷保护、电气设备的选择、配电网综合节能投资决策技术经济模型、配电网自动化。本书依据国内外最新标准、新技术及新产品的发展结合实用经验编写，内容广泛，通俗易懂。

本书既可作为普通高等院校输电专业的教材，也可以作为输电专业技术培训教材以及供电企业技术及管理人員的工作参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市电网供配电系统/祝贺主编. —北京: 中国电力出版社, 2016. 7

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5123-8869-7

I. ①城… II. ①祝… III. ①城市-供电系统-高等学校-教材
②城市-配电系统-高等学校-教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 019629 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 301 千字

定价 30.00 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

前言

随着我国电网建设的飞速发展,配电系统新形势、新装备和新工艺的不断出现,配电网呈现出向智能化发展的方向。电力用户对电力供应的可靠性和电力服务的要求越来越高,城网改造、升级,环网供电,电力电缆的大幅度应用于城市,所有这些都要求供电公司的配电工作人员更新观念,提高业务技术水平,适应电力工业发展的需要。

本书在我国建设统一坚强智能电网的背景之下,将范围锁定在配电网,较为全面地介绍了配电网理论及其关键技术,涉及面较广泛,内容新颖、前沿,既涵盖了国外的研究成果,也聚集了国内的最新发展。本书旨在为在校学生和供电工作人员提供一本新形势下的城市电网供配电系统相关知识的参考书。

本书第一~三章、第七~十章由东北电力大学祝贺编写,第四章由沈阳工业大学庚振新编写,第五章由沈阳化工大学王娜编写,第六章由广东省电力公司佛山供电公司王泽洋编写。东北电力大学硕士研究生于卓鑫、刘豪、严俊韬、刘程在绘图、材料整理等方面付出了辛勤的劳动。本书由沈阳工业大学徐建源教授担任主审,提出了宝贵的修改意见;同时,在编写过程中得到了国网沈阳供电公司的大力支持,编者在此一并表示最诚挚的谢意。

限于编者经验不足,书中疏漏或不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2016年1月

目 录

前言	
第一章 配电网规划与设计	1
第一节 电力系统及配电网发展概况	1
第二节 电力系统的规划与设计原则	6
第三节 高压配电网规划	9
第四节 中压配电网规划	13
第五节 低压配电网规划	21
第六节 配电变电站规划	22
第二章 配电系统负荷预测	26
第一节 各种不同性质的负荷	26
第二节 负荷预测方法	27
第三节 负荷预测与计算	30
第三章 配电网供电可靠性与电压合格率	34
第一节 配电网的可靠性统计评价	34
第二节 配电网可靠性的统计、分析与计算	39
第三节 配电系统可靠性准则及规定	48
第四节 配电系统可靠性的措施	51
第五节 配电网的电压质量管理	55
第六节 配电网电压波动的影响及原因	59
第七节 配电网谐波的产生及危害	60
第八节 配电网谐波测量及抑制措施	63
第四章 配电网损耗及无功补偿	66
第一节 配电网功率损耗与电能损失	66
第二节 理论线损计算	67
第三节 降低线损的技术措施	68
第四节 配电网的经济运行和负荷管理	75
第五节 无功优化及自动跟踪无功补偿装置	78
第五章 短路电流计算	82
第一节 供配电系统的中性点运行方式	82
第二节 短路发生的原因、种类、危害	83
第三节 无限大容量中压配电网短路电流计算	84
第四节 配电网短路电流限值及控制措施	88
第六章 配电变压器	92
第一节 配电变压器概述	92

第二节	配电变压器容量选择	95
第三节	配电变压器的室内安装	99
第四节	配电变压器杆塔式安装	105
第五节	配电变压器台墩式安装	107
第六节	配电变压器落地式安装	108
第七节	变压器中性点接地方式	108
第八节	配电变压器的运行维护	112
第九节	配电变压器的故障处理	114
第七章	配电网防雷保护	120
第一节	雷电对配电网的作用及危害	120
第二节	配电线路的防雷保护	125
第三节	配电所的防雷保护	127
第四节	配电变压器的防雷保护	131
第五节	发电厂直配线路的防雷保护	132
第六节	接地装置	136
第七节	关于配电网防雷保护的分析和研究	144
第八章	电气设备的选择	148
第一节	电气设备选择的一般原则	148
第二节	高压开关设备的选择	149
第三节	低压开关电器的选择	152
第四节	母线、支柱绝缘子和穿墙套管的选择	154
第五节	互感器的选择	156
第九章	配电网综合节能投资决策技术经济模型	160
第一节	技术经济模型概述	160
第二节	理论效益模型	161
第三节	实际效益模型	170
第四节	年理论投资效益比模型	170
第五节	投资回收期模型	171
第六节	配电网综合节能改造风险评估模型	172
第七节	综合评估与投资决策总体流程	175
第十章	配电网自动化	176
第一节	配电网自动化简介	177
第二节	馈线自动化	180
第三节	变电站自动化	184
第四节	用户服务自动化	185
第五节	配电管理自动化	187
第六节	配电网的通信系统	188
参考文献		192

第一章 配电网规划与设计

第一节 电力系统及配电网发展概况

一、我国电网概况

改革开放以来,我国电力工业一直以较快的速度发展,经历了机组由小到大和电网由小到大、由弱到强、电压等级逐步提高的发展历程,技术和管理水平不断提升,走出了一条具有中国特色、符合我国国情的发展道路。进入 21 世纪后,电力工业更是取得了前所未有的成就,国家在电网领域加大了投资、建设力度,电网发展与电源建设相协调,电网的可靠性、灵活性和经济性显著提高。

2014 年,全国发电装机容量达到 13.60 亿 kW,同比增长 8.2%。其中火电 91569 万 kW,水电 30183 万 kW (含抽水蓄能 2183 万 kW),风电 9581 万 kW,核电 1988 万 kW,太阳能 2652 万 kW。全社会用电量达到 5.55 万亿 kWh,同比增长 3.8%,有力支撑了国民经济快速发展和人民生活水平的不断提高。

全国联网格局已基本形成,大电网的规模效益初步显现,形成了华北—华中、华东、东北、西北、南方五个主要同步电网,除台湾外,实现了全国联网。华北、华中通过 1000kV 交流同步联网,东北与华北通过高岭直流背靠背实现异步联网,西北与华中通过灵宝直流背靠背、德阳~宝鸡 ± 500 kV、哈密南~郑州 ± 800 kV 直流工程实现异步联网,西北与华北通过宁东(银川东)~山东(青岛) ± 660 kV 直流实现异步联网,华中与华东通过葛洲坝~上海(南桥)、三峡(龙泉)~江苏(政平)、三峡(宜都)~上海(华新)、三峡(荆门)~上海(枫泾)4 回 ± 500 kV 直流以及金沙江(向家坝)~上海(奉贤)、雅砻江(锦屏)~江苏(同里)、金沙江(溪洛渡)~浙西(金华)3 回 ± 800 kV 直流工程实现异步联网,华中与南方通过三峡(荆州)~广东(惠州) ± 500 kV 直流实现异步联网。西藏与西北电网通过青海~西藏 ± 400 kV 直流工程实现异步联网,2014 年 11 月建成川藏电力联网工程。

目前,我国形成了 1000/500/220/110 (66)/35/10/0.4kV 和 750/330 (220)/110/35/10/0.4kV 两个交流电压等级序列和 ± 500 (± 400)、 ± 660 、 ± 800 kV 直流输电电压等级序列;形成了华北、华中、华东、东北、西北五大区域电网,西北以 750kV 为主网架,其他区域以 500kV 为主网架,华北、华中、华东电网电压等级提升到 1000kV,建成晋东南~南阳~荆门、淮南~皖南~浙北~上海、浙北~浙中~浙南~福州特高压交流工程;建成 1 回 ± 400 kV、7 回 ± 500 kV、1 回 ± 660 kV、4 回 ± 800 kV 直流输电工程和 3 个直流背靠背工程;配电网在网架结构、设备状况、技术水平、管理水平等方面不断完善,2014 年,我国经营区供电可靠率,城网为 99.967%、农网为 99.878%,综合电压合格率城网、农网分别为 99.982%、98.808%。

“十二五”以来,我国围绕深化“两个转变”,大力实施“一特四大”发展战略,电网发展取得显著成绩。“十二五”前四年,公司逐年电网投资分别达到 3023、3054、3379、3855 亿元,累计 110 (66) kV 及以上输电线路长度 83 万 km,变电容量 33 亿 kVA,分别是 2010

年的 1.4 倍和 1.5 倍,有力支撑了经济社会发展,保障了用电需求,国家电网已经成为世界最大的交直流混合电网。

电网建设与经济社会需求增长相适应,电网发展保证了新增 3.04 亿 kW 的电源接入,满足了新增负荷 1.42 亿 kW、新增电量 1.03 万亿 kWh 的供电需求。国家电网逐步成为集电能传输、市场交易和资源优化配置功能于一体的现代综合服务平台,大范围优化配置能源资源的格局初步形成。国家电力需求及电源装机发展情况如图 1-1 所示。

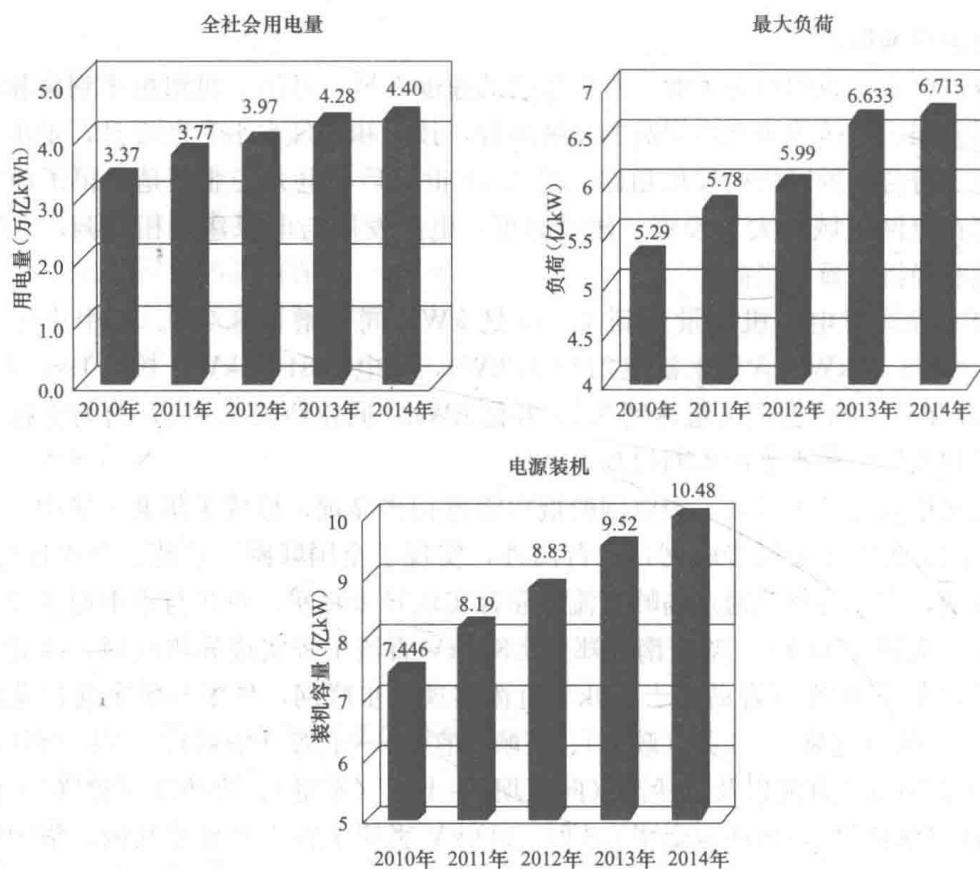


图 1-1 国家电力需求及电源装机发展情况

我国电网建设研究人员围绕特高压科研、试验、论证、规划、设计、建设、运行等方面,做了大量深入、细致的工作,全面掌握了特高压核心技术和关键装备制造能力,建立了完整的标准体系和试验体系。已建成投运“三交四直”特高压工程,长期保持安全稳定运行。特高压交直流示范工程通过国家验收,“特高压交流输电关键技术、成套设备及工程应用”获国家科技进步特等奖,这是我国电工领域在国家科技奖上获得的最高荣誉。在运在建和取得“路条”的特高压工程线路长度超过 2.9 万 km,变电(换流)容量超过 2.9 亿 kVA,特高压输电可行性和优越性得到充分验证。2014 年 2 月,成功中标巴西美丽山水电特高压输电工程,实现我国特高压技术“走出去”重大突破。我国特高压电网建设已走在世界前列,成为为数不多、在世界上处于领先水平的重大自主创新成果,为实现我国大规模、远距离、高效率电力输送,保障国家能源战略规划的顺利实施和经济社会可持续发展创造了必要条件。

国家高度重视配电网规划建设,将解决配电网薄弱问题作为电网发展的当务之急,持续加大投入力度,建立健全技术标准体系,不断提升发展理念,始终坚持统一规划,全面开展标准化建设,配电网发展取得显著成就。

(1) 配电网投资和规模大幅增加。持续加大配电网投入,2011~2014年,110kV及以下配网建设投资约6000亿元,占电网建设总投资比例约50%,其中2014年完成配电网建设投资1858亿元,创历史新高,占750kV及以下电网建设投资的比例达到62%。2014年,35~110kV变电容量、线路长度达到2010年的1.6倍,电网结构日趋合理,供电能力大幅提高,保障了用电负荷年均6.1%、用电量年均6.9%的增长,为城乡经济社会快速发展发挥了巨大作用。

(2) 城网供电质量显著提高。扎实推进城市配电网建设改造,完善网架结构,提高设备标准化水平,增强负荷转供互带能力,建设应用配电自动化系统,深入开展不停电作业和状态检修。城网110(66)、35kV N-1通过率超过90%,10kV主干线路N-1通过率达到85%,配电自动化覆盖率达到25%,用户年均停电时间由2010年的8.2h减少到2014年的2.9h,综合电压合格率由99.50%提高到99.98%。北京、上海等10个重点城市核心区用户年均故障停电时间降至4.5min,其中北京金融街地区用户年均停电时间不到半分钟,供电可靠率达到99.9999%,居于国际领先水平。

(3) 农网改造升级成效显著。我国大力实施“新农村、新电力、新服务”发展战略,先后完成县城电网改造、中西部农网完善等专项工程,农网简陋落后的面貌基本得到改变。“十二五”期间按照国家统一部署,全力组织实施新一轮农网改造升级工程,着力满足农村经济社会发展和农民生活改善的用电需求,农网供电能力和装备水平大幅提升。先后解决31个“孤网运行”(含西藏14个)、112个与主网联系薄弱的县域电网问题,综合治理农村“低电压”2407万户,农网10kV线路平均供电半径缩短至10.2km,户均配电变压器容量提高至1.32kVA安,有载调压主变压器比例达到85%,高损耗配电变压器比例降至8.7%,用户年均停电时间由2010年的31.9h减少到2014年的10.7h,综合电压合格率由97.48%提高到98.81%。

配电网供电可靠性和电压质量情况如图1-2所示。

“十二五”期间,公司各级骨干通信网、10kV通信接入网发展建设成效显著,技术装备水平迈上了新台阶,通信网可靠性和支撑服务能力得到大幅提升。光纤覆盖站点范围进一步扩大。110kV及以上变电站光纤覆盖率达到100%,为保护、安控、调度自动化等电网生产运行业务提供了高质量、高可靠的传输通道;重点城市核心供电区域10kV站点以光纤通信方式为主,有效支撑了区域内配电自动化“三遥”终端的可靠通信需求。骨干通信网传输容量大幅提高。优化完善省际、省级骨干光传输网拓扑结构,建成省际和部分省级大容量骨干光传输网重点工程,省际骨干传输网和17个省级骨干传输网的传输容量提升至400G以上;完成通信数据网骨干层的带宽升级,网络带宽提升至万兆,充分满足了电网运营管理等方面的通信业务需求。

“十二五”期间,国家在电网智能化理论研究、技术标准、试验体系、工程实践等方面开展了大量工作,取得了阶段性的成果。大规模新能源发电并网、电动汽车充换电设施布局、用电信息采集建设、智能调控技术应用等方面处于国际先进水平。建成世界上端数最多的浙江舟山五端柔性直流工程和世界上规模最大的张北风光储输联合示范工程,全面推广建

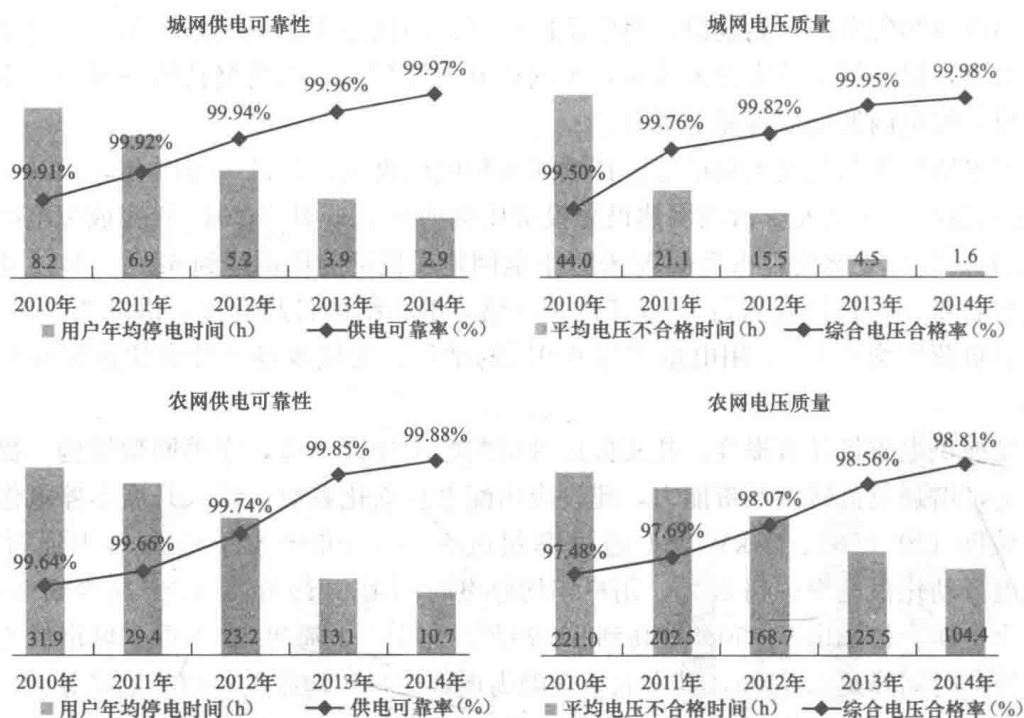


图 1-2 配电网供电可靠性和电压质量情况

设大规模风电功率预测及运行控制系统。截至 2014 年底，建成 1488 座智能变电站，6 座新一代智能变电站，正在建设 50 座；各省级公司均开展了配电自动化建设，配电自动化系统覆盖了 2.7 万条 10kV 线路，覆盖率达到 12.6%；累计建成 618 座充换电站、2.4 万台充电桩；累计安装智能电表 2.48 亿只，实现 2.56 亿户用电信息自动采集，覆盖率达到 67.6%；建成 26 个省级及以上、57 个地区级智能调度控制系统。

我国积极落实国家能源战略和节能减排部署，建成节能服务体系，全面加强新能源接入服务全过程管理，服务清洁能源发展。截至 2014 年底，公司投资 795 亿元，建成专用风电送出汇集站容量 2688 万 kVA、并网线路 3.7 万 km，建成太阳能汇集站容量 991 万 kVA、并网线路 2625km。国家电网风电和光伏发电并网装机分别达到 8790 万 kW 和 2445 万 kW，发电量分别达到 1452 亿 kWh 和 227 亿 kWh。我国取代美国成为世界第一风电大国，风电消纳水平国际领先，国家电网成为全球接入风电规模最大、风电和太阳能发展最快的电网。

国家调度范围内风电、光伏发电并网容量如图 1-3 所示。

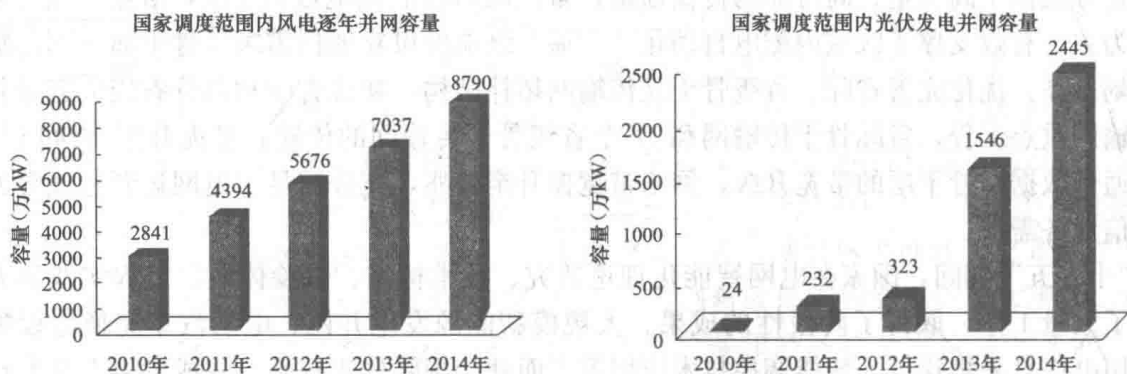


图 1-3 国家调度范围内风电、光伏发电并网容量

二、配电网发展概况

由于配电网相关数据统计工作繁琐,且耗资巨大,故而我们借助电力系统网络的发展概况来估计配电网的发展概况。那么,我们再具体地梳理配电网的发展历史,并根据现状对未来作一个粗略的预测。

在最早的配电网里,受电器是在线路中串联着的。这种配电系统缺点很多,切断任一受电器就切断了整个线路,从而引起其他受电器工作停顿;同时配电网的故障往往引起线路的开路,因而也会造成大批受电器供电中断。正由于此,后来就发展到将受电器并联到配电网上,这样就不会因为某一受电器的切断或接入而中断配电网的工作,因此,这种并联的配电系统作为一种理想的模式得到了迅速发展并一直沿用至今。早期我国的配电网电压等级零乱而复杂。20世纪50~60年代,随着我国配电网的发展,低压网和中压网的电压等级逐步统一改造为380/220V及6~10kV。又由于城市负荷密度的提高和大型电力用户的出现,现代配电网的最高电压等级已发展到35~110kV;有的负荷密度极高的大城市,采用220kV电压等级作为配电网电压等级。

到1995年底,全国电网建成35~110kV的线路45.1万km、变电容量3.95亿kV·A,10kV线路约260万km,380/220V线路约660万km。全国电网总装机容量2.17亿kW,发电量10069亿kWh,其中,约80%的电量由城网送到用户或转供给大企业,约50%的售电量由配电网直接分送到用户。农村电网已形成了以大电网供电为主,以小水电、小火电、风能、太阳能等多种能源发电互补的农村供电电源结构,农村电网覆盖了96%的农村。全国共建成农村电气化县533个,其中农村水电初级电气化县318个。

随着新理论、新方法、新技术在配电网中的应用,迫使现代配电网向下列趋势发展。

1. 配电装备向无油化、免维修、小型化、紧凑型方面发展

新的配电装备的开发主要要达到三个目的。第一是适应日趋严格的环境约束;第二是满足用户对供电可靠性越来越高的需要;第三是降低供电成本,包括安装、运行和维修费等。

就线路而言,正在开发和推广应用的有:①高压紧凑架空线路。与传统架空线比较,其高度可减少40%,线路走廊用地可节约50%。②中、低压架空集束绝缘线路。它与架空裸线比较,年事故率只有原来的1/7~1/2,线路走廊节约1/3~1/2,电压损失可减少40%,有利于城市绿化、城市环境美化等。它已在国外广泛使用,国内近十多年来,也在城网中推广应用。

对变压器来说,为适应高层建筑、地下商场、地铁、矿井等防火要求高的地区的供电需要,国内外已广泛推广使用绝缘变压器和树脂浇注干式变压器,这些变压器与传统油浸变压器比较,具有可靠性高、体积小、损耗低、噪声小、难燃等特点。

在开关设备方面,国内外已广泛采用断路器、真空断路器、固态断路器等,它们与常规电器设备比较,尽管其设备费用高一些,但由于可靠性高、动作灵敏、占地费用减少、安装简便、保护控制用电缆费用低、维护检修工作量小等,抵偿了很大一部分设备差价,因而在人口和交通密集的城市电网中迅速得到推广应用。

2. 配电自动化向多功能纵深方向发展

配电自动化是包括变电站、配电网和用户在内的运行、监控、维修、用户管理的具有自动化功能的综合一体化系统,而配电管理系统是包括配电自动化在内的符合配电系统现代管理要求的综合技术管理系统,需要说明的是,两者是既有联系又有不同的管理系统。在研究

单纯的技术措施时称为配电自动化的内容,而在研究技术和组织的综合措施时称为配电管理系统的内容,二者实质上是综合在一起的。因此,从某种意义上说,配电管理系统是广义的配电自动化系统。

因受新形势下用户对配电网供电可靠性和供电质量要求越来越高的影响,在国外,配电自动化近十多年来发展较快,由于各国的具体情况不同,开发的功能也差异较大。为了更好地推进此项工作,在1993年的12届国际供电会议(CIRED)上,成立了专门特设小组,对配电自动化在各国的进展情况进行了调研。机构起草的工作报告,反映了当前的现状,明确了若干基本概念,提出了全面、完整、内容具体、层次分明、关系明确的数十项配电自动化标准功能,这将推动配电自动化向多功能的纵深方向发展。

尽管我国在配电网实时数据采集与监控(SCADA)方面取得了一定成绩,但在全面开展配电自动化功能方面还处于探索起步阶段。由于此项工作涉及面广、耗资巨大,各地正在因地制宜,制订分步实施计划,通过投入和效益评估,进行具体功能的开发,力争把我国配电自动化程度提高到一个新水平。

第二节 电力系统的规划与设计原则

电力系统是由发电厂、输电、配电、用电等设备及其辅助系统(继电保护、安全自动装置、调度自动化和通信等装置)按规定的技术要求连接在一起,将一次能源转换为电能并输送和分配到用户使用的系统的总称。电力系统的根本任务是向用户提供充足、可靠、合格和价格合理的电能。

电力工业既是国民经济的基础产业,又是关系国计民生的公用事业,电力系统的建设与发展事关经济发展、社会稳定和国家安全大局。电力工业属于资金和技术密集型产业,行业关联度高,并具有建设周期长,电能产供销同时完成,电力传输具有网络性以及受到建设条件、资源、环境制约等特点。电力工业发展必须采纳国民经济和社会发展规划,电力供求关系必须保持大体平衡,电力一旦短缺对国民经济和社会会带来巨大影响,其调控具有很大的“滞后性”,电力过剩也会造成社会资金的巨大积压和资源的浪费,电力系统一旦发生严重事故会造成生产力的严重破坏。电力工业在国民经济和社会发展中的地位和作用及其本质特征客观上要求电力发展必须要长期规划、科学决策、合理布局、安全可靠、平稳发展、适度超前。

电力系统规划设计是国民经济发展规划的重要组成部分,它是根据规划期内国民经济和社会发展的需要,以动力资源和其他经济资源为条件,从满足用电需求的角度出发,正确处理近期及远景需要,研究规划期内电源、电网分阶段发展规划,分析各阶段电网网架方案,提出各阶段发电、输电、配电及二次系统发展规模、方案及具体项目,协调其建设进度,优化其设计方案。其目的是保证发电、输电、配电各环节协调发展,保证电力系统运行的灵活性、可靠性及经济性,满足国民经济和社会可持续发展战略的要求。

一、电力系统规划设计的主要内容

电力系统规划设计的主要内容包括负荷预测、动力资源开发、电源发展规划、输电网发展规划、配电网发展规划、二次系统规划。

负荷预测是电力规划的基础,它研究国民经济和社会发展各相关因素与电力需求之间的

关系,预测未来的需电量和电力负荷,预测负荷曲线。

动力资源规划是电源规划的基础,根据负荷需求预测结果,在国家能源和产业政策指导下,研究地区间一次能源平衡及地区内外可能开发的动力资源条件,提出今后发电所需动力资源来源及输送方式。

电源发展规划与输电网发展规划是不可分割的整体。电源发展规划根据动力资源及负荷分布条件,研究合理的电源构成、布局及规模;输电网发展规划结合电源送出及电网送电需要,研究输电网主网架电压等级、送电方式及电网结构。电网规划以电源规划方案为基础,但反过来又对电源规划产生一定的影响。电源规划与电网规划应进行协调,使整个系统规划达到最优。

配电网发展规划主要是研究城市电力网和农村电力网用户负荷密度及分布,提出保证供电的网络方案。

二次系统规划包括继电保护、安全自动装置、调度自动化、通信规划,为电力系统安全稳定运行创造条件。

在进行电源规划及电网规划的同时,还应进行环境及社会影响分析。应对规划期内环境容量进行研究,分析电力环保“质量空间”,从节能、节水、节地和合理控制污染物排放量的角度分析规划方案的可行性及合理性,提出有关建议。从移民、淹没面积、宗教、生态环境等方面,确定各规划方案对社会影响的程度和范围,避免规划方案对社会发展产生重大负面影响。

1. 电力系统规划设计按规划时段划分

电力系统规划设计按规划时段一般分为电力系统五年发展规划(简称五年规划)、电力系统发展中期规划(简称中期规划,时间为5~15年)和电力系统发展长期规划(简称长期规划,时间为15年以上)。电力系统规划应与国家国民经济和社会发展规划相一致。

长期规划应以五年规划和中期规划为基础,主要研究电力发展规划的战略问题;中期规划应以五年规划为基础,在长期规划的指导下编制,是长期规划战略性问题的深化,同时对长期规划进行补充和修订;五年规划应以现状为基础,在中期、长期规划的指导下编制,是中期规划的深化及具体体现,同时对中期、长期规划进行补充修订。

电力系统五年发展规划应根据规划地区国民经济和社会发展规划安排,研究国民经济和社会发展规划及经济结构调整方案对电力工业发展的要求,找出电力工业与国民经济发展中不相适应的主要问题,按照中期规划所推荐的规划方案,深入研究电力需求水平及负荷特性、电力电量平衡、对环境及社会影响等,提出五年内电源、电网结构调整和建设原则,以及需调整和建设的项目、进度及顺序,进行逐年投融资、设备、燃料及运输平衡,测算逐年电价、环境指标等,开展相应的二次系统规划工作。五年规划是编制项目可行性研究报告、项目立项的依据,是电力发展规划工作的重点。

电力系统中期发展规划研究5~15年内的电力系统发展和建设方案。电力系统中期发展规划在我国也称为电力系统设计,其任务是根据规划地区的国民经济及社会发展目标、电力需求水平及负荷特性、电力流向、发电能源资源开发条件、节能分析、环境及社会影响等,提出规划水平年电源和电网布局、结构和建设项目,宜对建设资金、电价水平、设备、燃料及运输等进行测算和分析。中期规划是电力项目开展初步可行性研究工作的依据。

电力系统长期发展规划研究15年以上的电力系统发展的规划,主要是研究电力发展的战略性问题,其任务是根据规划地区的国民经济和社会发展规划、经济布局和能源资源

开发与分布情况,宏观分析电力市场需求,进行煤、水、电、运和环境等综合分析,提出电力可持续发展的基本原则和方向,电源的总体规模、基本布局、基本结构,电网主网架,能源构成,必要时提出更高一级电压的选择意见、电气设备制造能力开发要求以及电力科学技术发展方向等。

2. 电力系统规划设计按地区划分

电力系统规划设计按地区可分为全国电力系统规划、区域电力系统规划、省级或地区电力系统规划。

电力系统规划应实行统一规划、分级管理。各级电力系统规划应具有不同的工作重点,充分体现下级规划是上级规划的基础、上级规划对下级规划的指导作用。

省级或地区电力系统规划,应以本省国民经济发展为基础,以动力资源和其他经济资源为条件,在考虑区域电网(包括周边国家)资源优化配置的基础上,做好本省或地区的资源优化配置方案,分析本省电源建设方案、本省主网架方案及本省与周边电网联网方案;区域电力系统规划,应在考虑跨区域范围资源优化配置的基础上,做好本区域资源优化配置,分析电源建设方案、主网架方案及本区域与周边电网联网方案;全国电力系统规划,应充分考虑我国能源分布及经济发展的特点,在满足分省、分区域用电负荷电源建设的基础上,研究跨区域大型电源的建设及送出方案,优化区域间电网建设方案,努力实现最大范围内的资源优化配置。

3. 电力系统规划设计按具体工作内容划分

电力系统规划设计按具体工作内容可分为电力规划(包括能源与资源、电源、电网规划)、电源规划、电网规划、系统设计、联网规划、大型电厂输电系统规划设计、电源接入系统设计、电网输变电工程可行性研究、城农网规划、二次系统规划、系统专题等。根据规划任务的要求,可进行单项或多项规划工作。

其中,电力系统专题设计,为解决设计年限内系统中出现的专门技术问题,需要进行专题设计,其范围主要有系统扩大联网设计;系统高一级电压等级论证,交、直流输电方式选择;电源开发方案优化论证;输煤、输电方案比较;串补工程所涉及的发电机次同步谐振问题研究;交、直流系统并列运行系统稳定研究;多直流落点稳定研究等。

二、电力系统规划设计的主要原则

1. 电力系统规划设计必须严格执行国家各相关法规、政策

电力系统规划设计必须执行《中华人民共和国电力法》等有关法律、法规和国家有关能源政策、产业政策及环境政策等各项方针政策,满足合理利用能源、节能降耗、环境保护的有关要求。

2. 电力系统规划设计要符合国家国民经济与社会发展战略需求

电力系统规划设计要符合国家制定的国民经济和社会发展战略,满足国民经济和社会发展战略对电力的需求,确保与国民经济协调发展并适当超前;要坚持以市场为导向,做好电力需求分析预测,发挥市场对资源优化配置的基础作用;电源、电网要统一规划,合理布局,促进电源电网协调发展,实现更大范围内的资源优化配置;注重电力结构调整,提高电力工业的总体质量和效益坚持开发与节约并重,把节能放在首位;高度重视环保,实现电力工业可持续发展;依靠科技进步,积极采用新技术,促进产业升级。

3. 电力系统规划设计应满足供电可靠性、灵活性和经济性的要求

可靠性主要包括两方面内容:对用户供电的充足性和对用户供电的安全性。供电的充足

性是指系统满足一定数量负荷用电的不间断性；供电的安全性是指系统保持向用户安全稳定供电时，能够承受故障扰动的严重程度，通常是指规程中规定的故障事件。

灵活性是指电力系统能适应近、远期的发展，便于过渡。由于在规划设计阶段会遇到很多不确定的因素，从规划设计到项目建成投产，系统中的电源、负荷、网架等情况可能会发生某些变化，设计系统应能满足系统安全稳定、经济运行的需要。

经济性要求在规划设计阶段应进行多方案综合评价，优化电源及电网建设方案，以最少的投资及运行成本向用户提供充足、可靠、合格、低价的电能。

这三项要求往往受到许多客观条件（如资源、财力、技术及技术装备等）的限制，在某些情况下，三者之间相互制约并会发生矛盾，因此必须研究它们之间综合最优的问题。

4. 电力系统规划设计应实行动态管理

五年规划应每年修订一次，中期规划应每三年修订一次，长期规划应每五年修订一次，有重大变化应及时修改、调整。

三、配电网建设

配电系统作为电力系统的一部分，也必须满足上述规划设计原则，但是配电网建设是保证经济发展的一项重要基础设施内容，因此配网规划建设必须紧密结合地方总体发展规划方向，以满足、服务地方经济发展需要为首要任务。配电网规划的重点，是研究和制定配电网的整体和长远发展目标，确定配电网的远景目标网架、中期目标网架及过渡方案和近期建设改造规划。

配电网规划的编制，应从调查分析现有电网入手，解决配电网的薄弱环节，优化电网结构，提高电网的供电能力和适应性；做到近期与远景相衔接，新建和改造相结合以及实现电网接线规范化和设施标准化；在电网运行安全可靠及保证电能质量的前提下，达到电网发展、技术领先、装备先进和经济合理的目标。

配电网规划除高、中压主网架的规划外，还应包括无功规划和二次系统规划（含继电保护、通信、自动化）等，使有功和无功、一次和二次系统协调发展，提高配电网自动化、信息化水平。

四、配电网电压等级的合理配置

城市配电网作为城市发展的一项重要基础设施，其电压等级的合理选择配置对配电网未来的发展、经济运行等具有深远的影响。我国规定的标称电压为 750、500、330、220、110、66、35、20、10、6、0.4kV。

五、我国配电网电压等级的划分

我国配电网包括 110、66、35kV 的高压配电网，20、10、6kV 的中压配电网以及 0.4kV 的低压配电网。在某些特大型城市中 220kV 电网有时也归入高压配电网。

此后，我们将分别讨论高压配电网、中压配电网以及低压配电网的规划与设计。

第三节 高压配电网规划

一、高压配电网规划问题描述

高压配电网是指由高压配电线路和高压配电变电站组成的向中压配电网和用户提供电能的配电网，电压等级通常为 35~110kV，部分特大型城市的 220kV 也纳入高压配电网的范

畴。高压配电网的电源点通常是高压 220kV 变电站，其负荷通常是 35~110kV 变电站所带负荷。高压配电网规划是在 220kV 变电站和 35~110kV 变电站的站址、容量和供电范围确定的情况下，确定待规划年份高压配电线路的数量、规格、走廊和接线模式。

高压配电网规划问题在数学上可以表示为一个多目标、带约束、非线性、混合整型组合优化问题。高压配电网与高压输电网相比，其明显的特点是网络结构上是环网结构，但运行中往往采取以每一个 220kV 变电站为中心的开环运行方式，而且高压配电变电站还可能因变电站主接线的接线形式与运行方式不同而使一个变电站分成两个负荷点，从而使该问题进一步复杂化。

目前，实际规划人员通常的规划方法是：根据待规划区可能的线路走廊，220kV 变电站的位置，35、110kV 变电站主变压器的台数和容量，研究高压配电网典型的接线模式，然后根据典型的接线模式再由规划人员人工提出高压配电网的网架方案，在城市电网规划计算机辅助决策系统图形界面的地理背景图上规划具体的线路走廊，并利用系统的各种计算工具进行技术经济分析。若有不同的变电站布点及规划方案时，规划人员会提出不同的高压配电网方案进行经济技术比较，最终确定优化的高压配电网规划方案。

二、高压配电网接线模式分析

一个实际的高压配电网往往不是由一种接线模式构成的，而是由若干种接线模式组成的。因此在进行高压配电网规划时要对各种高压配电网接线模式进行分析，从而确定适合规划区特点的高压配电网接线模式，构造规划区高压配电网。

高压配电网的基本接线模式较多，现对其常用部分介绍如下。

1. 三 T 接线

在这种接线模式中，35~110kV 变电站通常可布置三台主变压器，高压侧通常采用线路变压器组的形式。当某一条线路发生故障时，该条线路所带的变压器必须停电，变压器所带的负荷只能通过变电站低压侧提供备用，如图 1-4 所示。

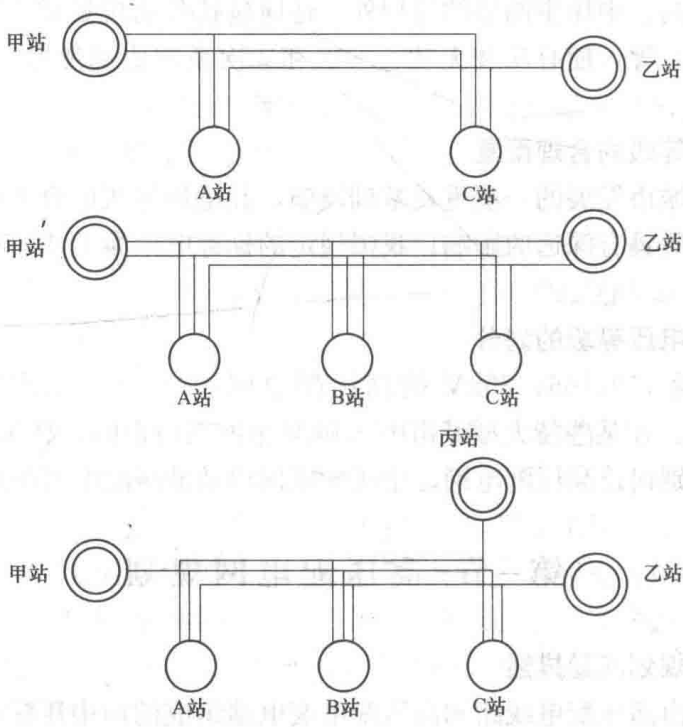


图 1-4 三 T 接线（一）

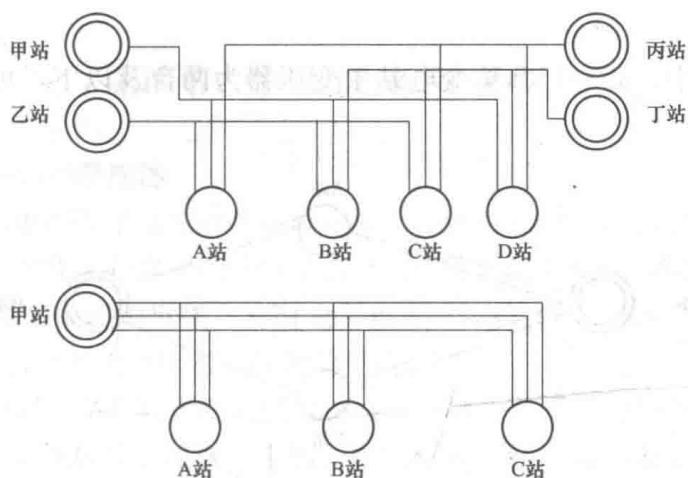


图 1-4 三 T 接线 (二)

2. 双 T 接线

在这种接线模式中, 35~110kV 变电站可布置两台或三台主变压器。当某一条线路发生故障时, 变压器所带的负荷可通过变电站高压侧联络提供备用或通过低压侧提供备用, 如图 1-5 所示。

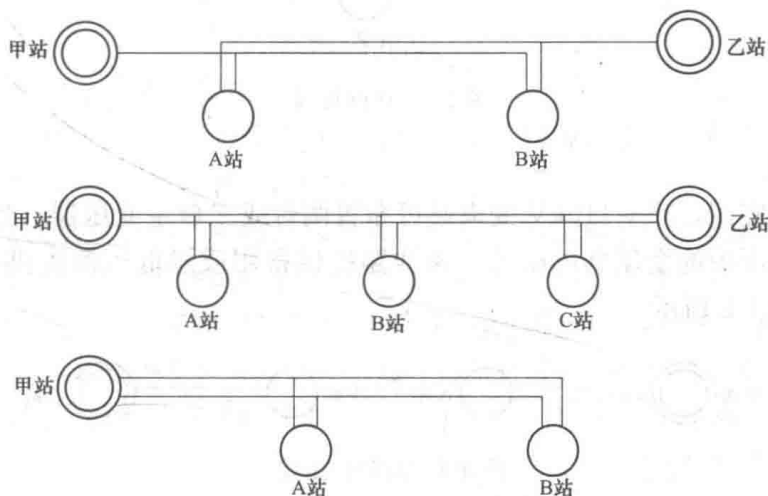


图 1-5 双 T 接线

3. 三回链式接线

这种模式接线稍显复杂, 设备投资较大。当某一条线路发生故障时, 该条线路所带的变压器可由另一侧的线路提供备用, 灵活性好、可靠性较高, 如图 1-6 所示。

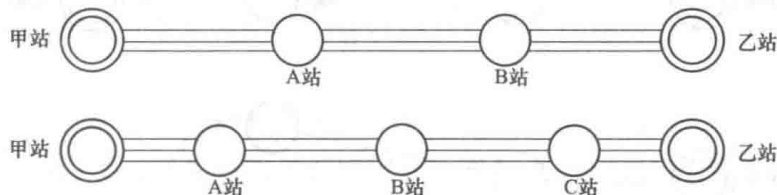


图 1-6 三回链式接线

4. 双回链式接线

这种接线模式与三回链式接线的特点相同。