



普通高等教育“十二五”规划教材

电力信息化和 信息安全

张冀 主编
郑顾平 曹锦刚 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划

电力信息化和 信息安全

主 编 张 冀
副主编 郑顾平 曹锦刚
编 写 邸 剑 李 梅 王新颖 翟清剑
主 审 袁仲雄



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书分为四篇十六章，主要内容包括电力信息化基础、发电企业生产和管理信息化、电网企业生产和管理信息化及信息安全与电力信息安全。本书把电力行业知识和计算机学科进行有机的结合，具有鲜明的电力行业特色。

本书可作为大中专院校相关专业的教材，也可作为从事电力信息化工作相关人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

电力信息化和信息安全 / 张冀主编. —北京：中国电力出版社，2013.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4580-5

I. ①电… II. ①张… III. ①电力工业—工业企业管理—企业信息化—高等学校—教材②电力系统—信息安全—高等学校—教材 IV. ①F407.616.14②TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 152925 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

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 511 千字

定价 38.00 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

此书是为华北电力大学控制与计算机工程学院学生开设的必修课“电力信息化和信息安全”编写的配套教材,是电力行业和计算机学科相结合的具有电力特色的教材。本书为新编教材。

目前,信息化浪潮已经席卷全球,广泛深入到人们的生产和生活中。科学技术是第一生产力,而信息化则是科学技术转化为生产力的倍增器。以信息化带动工业化,发挥后发优势,实现社会生产力的跨越式发展。电力工业是关系国计民生的重要基础产业和公用事业。电力信息化是国民经济和社会发展信息化的重要组成部分,对于满足人们生活需求、确保电力系统安全稳定运行、提高电力工业效率、促进电力工业可持续发展具有重要意义。因此本书系统地对整个电力行业信息化建设、发展和应用等方面进行了阐述,既可作为电力院校相关专业学习电力信息化的教材,也可作为非电力院校学习电力系统及其信息化相关知识的教材。由于本书涉及内容较为广泛,应根据不同专业需要安排教学内容。

全书共分四篇十六章。第一篇电力信息化基础,共四章,叙述电力工业和信息化的基础知识,介绍电力行业知识、发电行业知识、电网行业知识、信息化与企业信息化相关内容。第二篇发电企业生产和管理信息化,共五章,叙述火力发电厂热力设备及系统、分散控制系统、厂级监控信息系统、电力企业管理信息系统、企业资源计划系统。第三篇电网企业生产和管理信息化,共五章,叙述输电信息化、电网调度信息化、电网信息监测技术、配电信息化、智能电网等。第四篇信息安全与电力信息安全,共两章,叙述信息安全和信息安全技术、电力信息安全等。

本书由张冀博士担任主编,第一篇的第一章到第三章由张冀编写,第四章由李梅和王新颖共同编写;第二篇的第五章由张冀和翟清剑共同编写,第六章由张冀和美国新奥尔良大学(University of New Orleans, USA)的刘煜(Yu Liu)共同编写,第七章由山西太原理工大学的刘双庆编写,第八章和第九章由曹锦纲编写;第三编的第十章到第十二章由曹锦纲编写,第十三章由曹锦纲和邸剑共同编写,第十四章由郑顾平和邸剑共同编写;第四篇的第十五章由曹锦纲编写,第十六章由曹锦纲和李梅共同编写。张冀负责全书的统稿工作。

本书由上海电力学院袁仲雄副教授担任主审,并提出了许多宝贵的意见,保证了本书的质量,在此表示诚挚的感谢。

本书在编写过程中参考了大量书籍、文献和网站资料,因为版面有限,未能全部一一列出,在此向这些资料的作者致以诚挚的谢意。

本书编写得到华北电力大学有关部门和各级领导的指导和支持,并得到华北电力大学计算机系多位老师的关心和帮助,谨致以衷心的感谢。

感谢中国电力出版社对本书的写作和出版工作给予的帮助和支持。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2013年4月



目 录

前言

第一篇 电力信息化基础

第一章 电力行业知识	1
第一节 电力行业介绍	1
第二节 我国电力工业发展历程	10
思考题	15
第二章 发电行业知识	16
第一节 火力发电概述	16
第二节 水力发电概述	17
第三节 核能发电概述	22
第四节 风力发电概述	24
第五节 太阳能发电概述	28
思考题	35
第三章 电网行业知识	36
第一节 电网行业概述	36
第二节 特高压电网	38
思考题	41
第四章 信息化与企业信息化	42
第一节 信息的概念	42
第二节 信息化概述	44
第三节 企业信息化概述	49
第四节 电力企业信息化概述	54
思考题	60

第二篇 发电企业生产和管理信息化

第五章 火力发电厂热力设备及系统	62
第一节 火力发电厂的生产过程	62
第二节 火电厂锅炉设备和系统	65
第三节 汽轮机设备和系统	89
思考题	106

第六章 分散控制系统	108
第一节 分散控制系统概述	108
第二节 分散控制系统体系结构及其功能特点	118
第三节 分散控制系统在电站中的应用	136
思考题	139
第七章 厂级监控信息系统	140
第一节 厂级监控信息系统概述	140
第二节 厂级监控信息系统的结构	142
第三节 厂级监控信息系统的功能	145
第四节 厂级监控信息系统的实时/历史数据库	148
思考题	152
第八章 电力企业管理信息系统	153
第一节 管理信息系统概述	153
第二节 电力企业管理信息系统建设	158
第三节 电力企业管理信息系统的应用	162
思考题	163
第九章 企业资源计划系统	165
第一节 企业资源计划概述	165
第二节 电力企业 ERP	173
思考题	176

第三篇 电网企业生产和管理信息化

第十章 输电信息化	177
第一节 高压直流输电的控制调节	177
第二节 输电线路管理信息系统	188
第三节 输电线路在线监测系统	192
思考题	196
第十一章 电网调度信息化	197
第一节 概述	197
第二节 远方终端 RTU	198
第三节 电网调度自动化系统的基本结构	201
第四节 电力系统的分级控制和各级调度职责	203
第五节 电网调度自动化系统主要功能	205
思考题	219
第十二章 电网信息监测技术	220
第一节 信息传输通道及通信方式	220
第二节 电力系统远动信息传输技术	224

思考题	229
第十三章 配电信息化	230
第一节 配电管理系统与配电自动化	230
第二节 配电网 SCADA 系统	234
第三节 馈线自动化	237
第四节 配电图资地理信息系统	241
第五节 需方用电管理	243
第六节 配网高级应用软件	245
第七节 变电站综合自动化和变电站无人化	247
思考题	268
第十四章 智能电网	270
第一节 智能电网概述	270
第二节 坚强智能电网	273
第三节 智能电网基础技术	274
第四节 新能源发电及其并网技术	278
第五节 智能输电网技术	281
思考题	284

第四篇 信息安全与电力信息安全

第十五章 信息安全和信息安全技术	286
第一节 信息安全	286
第二节 信息安全技术	289
思考题	300
第十六章 电力信息安全	302
第一节 电力企业信息安全概述	302
第二节 电力企业网络安全风险分析	304
第三节 电力信息安全防护体系	308
第四节 电力二次系统安全防护	317
第五节 电力信息的安全监控系统	322
思考题	323
参考文献	324



第一篇 电力信息化基础

第一章 电力行业知识

电力工业是国民经济发展中最重要的基础能源产业,是国民经济的第一基础产业,是关系国计民生的重要基础产业和公用事业,是世界各国经济发展战略中的优先发展重点。电力工业作为一种先进的生产力和基础产业,电力行业对促进国民经济的发展和社会进步起到了重要作用。电力的安全、稳定和充分供应,是国民经济全面、协调、可持续发展的重要保障,它不仅是关系国家经济安全的战略大问题,而且与人们的日常生活、社会稳定密切相关。

随着我国经济的高速发展,电力需求越来越大,我国电力工业规模、水平将跃居世界前列。节能、减排和电力建设任务十分繁重,在电力工业的快速发展中,将遇到许多世界上首次出现的新问题、新困难,需要许多更先进的新技术、新产品、新材料,如节能减排性能更好的火电设备、环保设备、新一代核电设备、大容量水电设备、大型风力发电、新型太阳能发电设备、更高电压直流输电设备、大中型城市先进小型配电设备、高海拔地区水电施工技术 & 装备等。既要扩大国际交流合作,引进国外先进技术设备,进行消化吸收再创新,更要增强自主创新能力,研发新技术、新材料、新产品,使电力技术、电力装备科学技术迎头赶上并快速达到世界先进水平,使节能减排走在世界前列。这也是电力工业发展战略的重要组成部分。

第一节 电力行业介绍

一、电力系统的定义

电能对人类非常重要。它给黑夜带来光明,给人类带来幸福,没有电能的世界是不可想象的。电能是现代社会文明的基础。它为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供必不可少的动力,是人民生活中不可缺少的重要能源,在国民经济中占有十分重要的地位。

自然界中能源可分为一次能源和二次能源两类。

一次能源(primary energy)即天然能源。一次能源是指自然界中以天然形式存在并没有经过加工或转换的能量资源。一次能源包括可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气资源,其中水、石油和天然气三种能源是一次能源的核心,它们成为全球能源的基础。除此以外,太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能及核能等可再生能源也属于一次能源。

二次能源(secondary energy)是指由一次能源经过加工、转换以后得到的能源,如电能、燃油(汽油、柴油等)、氢能、液化石油气、酒精、沼气和焦炭等。在生产过程中排出的余能,如高温烟气、高温物料热,排放的可燃气和有压流体等,也属二次能源。一次能源无论经过几次转换所得到的另一种能源,统称二次能源。

一次能源可以进一步分为再生能源和非再生能源两大类。再生能源包括太阳能、水力、风力、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差能等。它们在自然界可以循环再生。而非再生能源包括煤、原油、天然气、油页岩、核能等，它们是不可再生的，用掉一点，便少一点。

二次能源又可以分为“过程性能源”和“合能体能源”，电能就是应用最广的过程性能源，而汽油和柴油是目前应用最广的合能体能源。

电力行业就是把各种类型的一次能源通过对应的各种发电设备转化成电能，并且把电能输送到最终用户，向最终用户提供不同的电压等级和不同的可靠性要求的电能及其他电力辅助服务的基础性工业行业。

二、电力系统的形成

在电力工业发展初期，发电厂的容量很小，且都建设在用户附近，各发电厂之间没有任何联系，彼此都是孤立运行的。随着工业、农业生产的发展，对电力的需求日益增多，对供电质量也提出了更高的要求。这样，不但要建设许多大容量的发电厂以满足日益增长的电能需求，而且对供电可靠性的要求也高了。显而易见，单个孤立运行的发电厂是无法解决这些难题的。例如，一个孤立运行的发电厂，一旦出了故障，用户将被中断供电。

一般而言，发电用的动力资源和电能用户往往不在一个地区，水能资源集中在河流水位落差较大的地方，燃料资源集中在煤、石油、天然气的矿区；而大工业、大城市和其他用电部门则因其原料产地、消费中心受历史、地理条件的限制，可能与动力资源所在地区相隔很远，这样，水电只能通过高压输电线路把电能输送到用户地区才能被利用。火电厂虽然能通过燃料运输而在用户地区建设发电厂，但随着机组容量的增大，运输燃料常常不如输电经济。于是就出现了所谓坑口发电厂，即把火电厂建在矿区，通过升压变电所、高压输电线路及降压变电所把电能送到离电厂很远的用户地区。因此就需要将各个孤立运行的发电厂通过输电线路和变电所互相连接起来，以达到相互支援、提高供电可靠性和相互备用的目的。随着高压输电技术的发展，在地理上相隔一定距离的发电厂就逐步连接起来并列运行，其规模越来越大，开始在一个地区之内，后来发展到地区之间互相连接，形成庞大的电力系统。

组成电力系统后，在技术和经济上都有很大的效益，主要包括如下几个方面。

(1) 减少系统中的总装机容量。由于电力系统中供电给各用户的最大负荷并不是同时出现的，因此系统中综合起来的负荷总是小于各用户最大负荷的总和。由于系统综合最大负荷的降低，就可以相应地减少系统的总装机容量。为了保证对用户可靠地供电，无论是孤立电站还是电力系统，都需要设置检修和事故备用容量。在孤立电站中，备用容量不应小于电站最大机组容量（可能是电站总容量的 30%~40%）。而在电力系统中，所有发电站连接在一起并列运行，备用容量只需有系统总容量的 10%~15%，且不小于系统最大一台机组的容量即可。显然，此时电力系统的备用容量比各孤立电站备用容量的总和小，即总装机容量可以减小。

(2) 可以装设大容量机组。组成电力系统后，由于总负荷的增大，可以装设大容量机组。大容量机组效率高，每千瓦投资及维护费用都比多台小机组经济得多。但是，电力系统中所采用的最大机组容量，以不超过系统装机容量的 8%~10%为宜。

(3) 能够充分地利用动力资源。组成电力系统后，可以将发电站建造在动力资源产地，例如，在煤矿附近建造巨型坑口电站，在水电资源集中的地方建造大型水力发电站等。同时，有些形式的电站，如热电站、水电站、风力电站、原子能电站等，如果不与系统联网，就很

难保证供电及发挥其经济效益。例如,水电站的出力是由水能及其综合利用来决定的,往往与电负荷的需要不能配合。一般在夏季丰水期,水量多而用电量较少;冬季枯水期,水量少用电量反而多,因此,就可能由于水库调节库存不够而弃水,或者电力负荷不能保证供应。如果把水电站连接在电力系统中,由于有火电站和其他形式电站的互相配合和调节,水力资源就能得到充分利用,供电也能得到保证。

(4) 提高供电可靠性。在电力系统中,由于是多电源联合供电,机组数量很多。即使个别机组或电源发生故障,其他机组或电源仍可以在出力允许的情况下多带负荷,因此可以提高供电可靠性。

(5) 提高电能质量。电能质量用频率和电压来衡量,其数值应根据相关规定要求,保证在一定的允许范围内波动。由于电力系统容量大,因而负荷波动时所引起的频率和电压波动就会减小,电能质量就可以提高。

(6) 提高运行的经济性。组成电力系统后,除了充分利用动力资源外,在系统中还可以经济合理地分配各机组或各发电站之间的负荷,使运行经济、效率高的机组多带负荷。而效率低、发供电成本高的机组少带负荷,从而降低电能生产的总成本。

综上可知,随着系统联系的扩大,系统的优越性就越加显著。但是这并不意味着在所有场合下都是系统规模越大越好,这是因为随着电力系统的日益壮大,联系的日益增强。由一处发生故障而波及广大地区的情况也越容易发生。此外,系统短路容量也将随着系统容量的增大而不断增加,甚至达到设备所不能容许的程度。因此,应区别不同情况,以适当的方式来实现系统的联系,并采用先进技术,尤其是计算机技术、自动控制技术、远动技术来防范事故和限制故障影响的扩大。

三、电力系统的分类

我国《国民经济行业分类(2003)》,采用经济活动的同质性原则划分国民经济行业,即每一个行业类别都按照同一种经济活动的性质划分。电力行业属于电力、热力的生产和供应,前者只提供单一的电力生产和供应,后者不但提供电力生产、供应,还要提供热力的生产和供应,如热电厂。

电力系统从组织上可划分为发电、调度两大系统和由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产、传输、分配和消费的系统。其中,发电系统根据电厂的发电能级及所处的位置分为跨网电厂、网级电厂、省级电厂、自备电厂及小水电厂等四个发电级别,它们统一向电网供电。

由发电厂生产的电能,经过由变压器和输电线路组成的网络输送到城市、农村和工矿企业供给用户的用电设备消耗。由变电所和不同电压等级输电线路组成的网络,称为电力网。由发电厂内的发电机、电力网内的变压器和输电线路及用户的各种用电设备,按照一定的规律连接而组成的统一整体,称为电力系统。电力系统加上发电机的原动机(如汽轮机、水轮机等)、原动机的力能部分(如热力锅炉、水库、原子能反应堆等)及配套设施(如用热设备)等,则称为动力系统。动力系统、电力系统和电力网三者之间的关系,如图 1-1 所示。

可以看出,由发电机生产的电能,为减少输送过程中的电能损耗,一般先经过变电所的升压变压器将电压升高,再通过输电线路送入电力系统。由于用户用电设备的额定电压较低,因此电能送到用户地区后要经过变电所的降压变压器将电压降低后供给用户用电设备消耗。电力网通常按电压等级的高低、供电范围的大小分为地方电力网、区域电力网和超高压远距

离输电网，如图 1-2 所示。

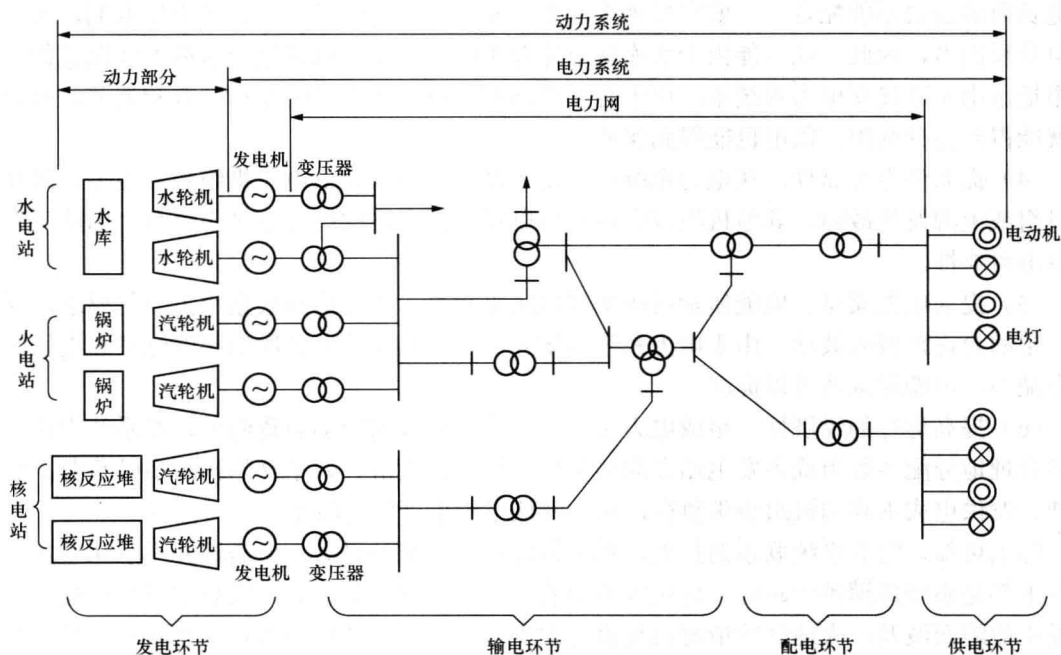


图 1-1 电力系统构成

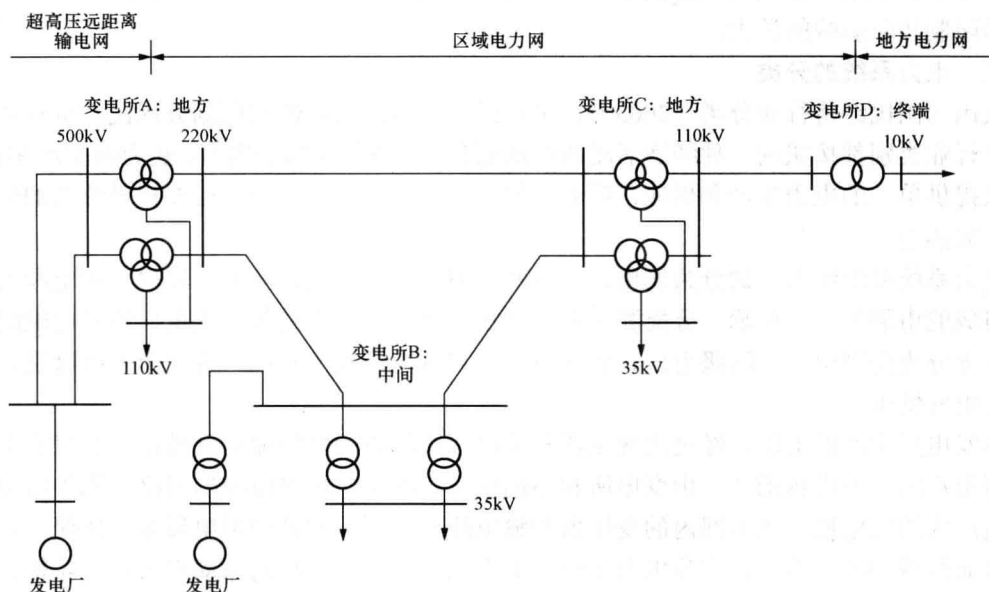


图 1-2 电力系统的电压等级

地方电力网是指电压在 35kV 及以下，供电半径在 20~50km 以内的电力网。一般企业、工矿和农村乡镇配电网属于地方电力网。电压等级为 35kV 以上，供电半径超过 50km，联系较多发电厂的电力网，称为区域电力网，电压等级在 110~220kV 的网络，就属于这种类型的电力网。电压等级为 330~500kV 或者更高电压等级的网络，一般是由远距离输电线路

连接而成的,通常称为超高压远距离输电网,它的主要任务是把远处发电厂生产的电能输送到负荷中心,同时还联系若干区域电力网形成跨省、跨地区的大型电力系统。例如,我国的东北、华北、华东、华中、西北和南方等的电力网络,就属于这一类型的电力网。

变电所是联系发电厂和用户的中间环节,一般安装有变压器及其控制和保护装置,起着变换和分配电能的作用。根据变电所在电力系统中的地位,可分为下述几种类型。

1. 枢纽变电所

枢纽变电所是指位于电力系统的枢纽点,高压侧电压为 330~500kV,连接电力系统高压和中压的几个部分,汇集多个电源的变电所。全所一旦停电,将引起整个系统解列,甚至使部分系统瘫痪。

2. 中间变电所

中间变电所是指以交换潮流或使长距离输电线路分段为主,同时降低电压给所在区域负荷供电的变电所。一般汇集 2~3 个电源,电压为 220~330kV。全所一旦停电,将引起区域电力网解列。

3. 地区变电所

地区变电所是一个地区或城市的主要变电所。地区变电所是以向地区或城市用户供电为主,高压侧电压一般为 110~220kV 的变电所。全所一旦停电,将使该地区中断供电。

4. 终端电站所

终端变电所是在输电线路的终端,连接负荷点,直接向用户供电,高压侧电压为 110kV 的变电所。全所一旦停电,将使用户中断供电。

四、电力系统的行业特性

1. 电力系统的特点

电能的生产、变换、输送、分配及使用和其他工业不同,它具有下述特点。

(1) 电能不能储存,指的是不能大规模储存。电能不能大量存储在电力系统中,电能的生产、输送、分配和使用是同时进行的。发电厂在任何时刻生产的电能都必须等于该时刻用电设备消耗的电能与变换、输送和分配环节中损耗的电能之和,即发电容量和用电容量随时应保持平衡,因而不论是转换能量的原动机或发电机,或是输送、分配电能的变压器或输电线路及用电设备等,只要其中任何一个元件发生故障,都将影响整个电力系统的正常工作。迄今为止,尽管人们对电能的存储进行了大量的研究,并在一些新的存储方式上(如超导储能、燃料电池储能等)取得了某些突破性的进展,但是仍未解决经济的、高效率的及大容量电能的存储问题。因此,电能不能大量存储是电能生产的最大特点。

(2) 暂态过程非常迅速,过渡过程十分短暂。所谓暂态过程,就是当电力系统遭受到大干扰后,电力系统从一种运行状态急剧地向另一种运行状态过渡的过程。电能以电磁波的形式传播,传播速度为 30 万 km/s。电力系统正常运行时,负荷在不断地变化,发电容量跟着作相应变化,以便适应负荷的需求。当电力系统运行情况发生变化时所引起的电磁方面和机电方面的过渡过程是十分短暂的。例如,用户用电设备的操作,电动机、电热设备的启停或负荷增减是很快的,变压器、输电线路的投入运行或切除都是在瞬间内完成的。当电力系统出现异常状态,如短路故障、过电压、发电机失去稳定等过程,更是极其短暂,往往只能用 μs 或 ms 来计量时间。因此,不论是正常运行时所进行的调整和切换等操作,还是故障时为切除故障部分或为将故障限制在一定范围内以迅速恢复供电而进行的一系列操作,仅仅依靠

人工操作是不能达到满意效果的,甚至是不可能的。因而,必须采用各种自动装置、远动装置、保护装置和计算机技术来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。

(3) 电力生产的差异性。电力生产的差异性主要是由于不同电力生产设备存在的机械特点差异。一般来说,大容量、带基负荷的火电或是核电在出电比较稳定的情况下运行最有效率,而水电与中小型燃气电站则可以随负荷的变化灵活变动,甚至在特殊的要求下可以快速启动。由于基电源机组的爬坡速度比较慢,需要那些能跟踪负荷灵活的调峰机组来保持电能的实时平衡。而且,由于某些机组可能会出现故障和电网存在电能损耗,也需要充分的机组备用。当紧急情况出现时,由于带基负荷的大机组爬坡速度慢,而且启动成本很高,水电和那些小型电厂就弥补其不足。

(4) 电力需求缺乏价格弹性。所谓价格弹性,即需求量对价格的弹性,是指某一产品价格变动时,该种产品需求量相应变动的灵敏度。电力需求缺乏价格弹性主要是由于电力通常是生活或生产的必需品。当前电力市场中,需求方通常很少自由参与市场,而且有些用户用电,特别是那些居民用电不是很在乎价格的变化,或者说,响应市场价格变化而调整用电方式对他们并不是很有利。因此对大多数用户来说,其电力需求缺乏甚至没有价格弹性,很少有选择用电方式的余地,有时候要被迫接受高价。另外,需求缺乏弹性是形成市场势力的一个重要原因。

(5) 电能生产与国民经济各部门和人民生活有着极为密切的关系。由于电能是洁净的能源,具有使用灵活、易于转换、控制方便等优点,国民经济各部门广泛使用电能作为生产的动力。现代工业、现代农业、交通运输、通信等都广泛用电能作为动力来进行生产,把电力系统视为各工业企业的“动力车间”。此外,在日常生活中人们广泛使用各种家用电器用电。因此,电能生产与国民经济各部门和人民生活关系密切、息息相关。随着社会现代化的进展,各部门中的电气化程度越来越高,因而电能供给的中断或不足,不仅将直接影响工业、农业生产,造成人民生活秩序紊乱,在某种情况下甚至会酿成极其严重的社会性灾难。

(6) 电力系统的地区性特点较强。由于电力系统的电源结构与能源资源分布情况和特点有关,而负荷结构却与工业布局、城市规划、电气化水平等有关,至于输电线路的电压等级、线路配置等则和电源与负荷间的距离、负荷的集中程度等有关,因而各个电力系统的组成情况将不尽相同,甚至可能很不一样。例如,有的系统内水能资源丰富是以水力发电厂为主,而有的系统内煤、油或天然气资源丰富是以火力发电厂为主,有的系统电源与负荷距离近、联系紧密,而有的系统却正好相反等。因而,在做电力系统规划设计时,必须运用系统分析方法,采用优化技术和人工智能技术,针对具体系统的情况和特点进行,如果盲目地搬用其他系统或国外系统的一些经验而不加以仔细分析,则必将违反客观规律,酿成错误。

2. 对电力系统的要求

(1) 保证供电的可靠性。保证供电的可靠是电力系统运行中的一项极为重要的任务。中断用户供电,会使生产停顿,生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,给国民经济造成极大损失。停电给国民经济所造成的损失远远超过电力系统本身少售电能所造成的损失,一般认为,由于停电引起国民经济的损失平均值约为电力系统本身少售电能损失的几十倍甚至数百倍。因此,电力系统运行的首要任务是满足用户对供电可靠的要求。造成对用户中断供电的原因很多,可能是由于电力系统的设备发生了故障,如发电机、变压器、输电线路等发生了故障;也可能是系统运行的全面瓦解,如稳定性遭到破坏导致系统瓦解。前者属于局部事故,

停电范围和造成的损失相对较小。后者是全局性事故,停电范围大,重新恢复供电需要很长时间,造成的损失也最大。

从可靠性观点来看,“有故障”是绝对的,要绝对杜绝事故的发生是不可能的。由于各类用户对供电可靠性的要求是不一样的,当供电中断后,有些用户断电会造成恶劣的政治影响,有些会影响人身和设备安全,有些则影响较小。因此,必须根据用户的实际情况来区别对待这些不同类型的用户。对于某些重要用户(如某些矿井、化工厂、炼钢厂等),停电会带来人身危险、设备损坏或产生大量废品等严重后果,在任何情况下都必须保证供电不发生中断(计划停电除外)。对于其他用户则可以容许不同程度的短时停电。通常,根据用户对供电可靠性的要求,可以将用户分为下列三类。

I类用户。指由于中断供电会造成人身伤亡的用户,如煤矿、大型医院;或中断供电会在政治、经济上给国家造成重大损失的用户,如大型冶炼厂、军事基地和重要涉外机构等;或中断供电会影响国家重要部门的正常工作的用户,如国家重要机关、通信中心和各类交通枢纽等及大量人员集中的公共场所、城市公用照明等。

II类用户。指由于中断供电会在政治、经济上造成较大损失的用户,如使主要设备损坏、大量产品报废、重点企业大量减产等;或中断供电会影响重要单位的正常工作的用户及大型影剧院、大型商场等。

III类用户。指不属于第I类、第II类的其他用户,一般指短时停电不会造成严重后果的用户,如小城镇、小加工厂及农村用电等。

当系统发生故障,出现供电不足的情况时,就应当首先切除III类用户的用电,以保证I、II类用户的用电。一般而言,对I类用户都设置有两个或两个以上的独立电源,以便在任意一个电源发生故障时,对用户的供电都不致中断;对II类用户应设专用供电线路,条件许可时也可采用双回路供电。

(2) 保证良好的电能质量。电力系统不仅要满足用户对电能的需要,而且还要保证电能的良好质量。电压、频率和波形是电能质量的三个基本指标,其额定值是电气设备设计的最佳运行条件。当系统的电压、频率和波形不符合电气设备的额定值要求时,往往会影响设备的正常工作,造成振动、损耗增加、使设备的绝缘加速老化甚至损坏,危及设备和人身安全,影响用户的产品质量等。因此要求系统所提供电能的电压、频率及波形必须符合其额定值规定。系统频率主要取决于系统中有功功率的平衡。发电机发出的有功功率不足,会使系统频率偏低。节点电压主要取决于系统中无功功率的平衡。无功功率不足,则电压偏低。

1) 电压。电压质量对各类用电设备的安全、经济运行都有直接的影响。电力系统中主要的用电设备有照明、异步电动机、电热装置和电子设备等。

照明负荷(白炽灯)的电压特性,如图1-3所示。从图中可以看出,照明负荷(白炽灯)对电压的变化是很敏感的。当电压降低时,白炽灯的发光效率和光通量都急剧下降;而当电压升高时,白炽灯的使用寿命将会缩短。例如,当供电电压比白炽灯的额定电压低10%时,光通量减少30%,而当供电电压比白炽灯的额定电压高5%时,白炽灯的使用寿命缩减一半。

异步电动机的电压特性,如图1-4所示,即当输出功率一定时,异步电动机的定子电流、功率因数和效率随电压而变化的曲线。从图1-4可以看出,当端电压下降时,定子电流增加很快。当电压降低时,电动机转矩将显著减小,这是因为异步电动机的最大转矩与其端电压的平方成正比,以致转差增大,使得定子电流和转子电流都显著增大,引起电动机的温度升

高，甚至可能烧毁电动机。反之，当电压过高时，对于电动机、变压器一类具有激磁铁芯的电气设备而言，铁芯磁通密度将增大以致饱和，激磁电流和铁耗都大为增加，致使电机过热，效率降低，波形畸变甚至可能导致发生谐波谐振。对电热装置而言，其消耗的功率也与电压的平方成正比，过高的电压将损坏设备，过低的电压则达不到所需要的温度。此外，计算机、电视、广播、通信、雷达等设备中的各种半导体器件、集成电路、磁芯装置等的特性，对电压都极其敏感，电压过高或过低都将使其特性严重变差而影响正常工作。例如，电视机和收音机，电压过高将会使它们损坏，而电压过低则影响它们的接收灵敏度及收看、收听的效果。

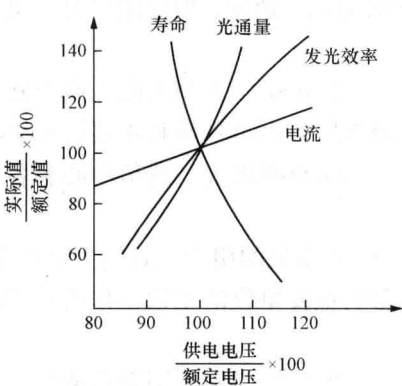


图 1-3 照明负荷（白炽灯）的电压特性

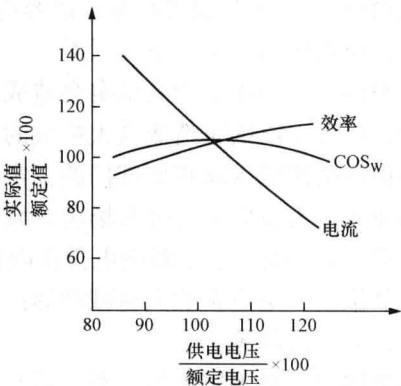


图 1-4 异步电动机的电压特性

由于上述各类用电设备的工作情况都与电压的变化有着极为密切的关系，故在运行中必须规定电压的容许变化范围，这也就是电压的质量标准。据统计，目前世界上许多国家根据运行实践规定的电压允许变化范围都为额定电压的±5%，少数国家也高到±10%，或低到±3%。

衡量电压的质量指标通常包括供电电压允许偏差、电压允许波动和闪变、三相供电电压允许不平衡度，如表 1-1 所示。

表 1-1 电压 质量 标准

名 称	允许限值	说 明
供电电压 允许偏差	1. 35kV 及以上供电电压为±5% 2. 10kV 及以下三相供电为±7% 3. 220V 单相供电为+7%~-10%	衡量点为供用电产权分界处或电能计量点
电压允许 波动和闪变	1. 电压波动 (1) 10kV 及以下为 2.5% (2) 35~110kV 为 2% (3) 220kV 及以上为 1.6% 2. 闪变 (1) 对照明要求较高，0.4%（推荐值） (2) 一般照明要求，0.6%（推荐值）	1. 衡量点为电网公共连接点（PCC），取实测 95% 概率值 2. 给出闪变电压允许限值和频度的关系曲线，可以根据电压波动曲线查出允许值，并给出算例 3. 对测量方法和测量仪器作出基本规定
三相供电电压 允许不平衡度	1. 正常允许 2%，短暂不超过 4% 2. 每个用户一般不超过 1.3%	1. 各级电压要求一样 2. 衡量点为 PCC，取实测 95% 概率值或日累计超标不超过 72min，且每 30min 中超标不超过 5min 3. 对测量方法和测量仪器做出规定 4. 提供不平衡度算法

2) 频率。频率的偏差同样会影响电力用户的正常工作。对于电动机而言, 频率降低将使电动机的转速下降, 从而使生产率降低, 并影响电动机的使用寿命; 反之, 频率增高将使电动机的转速上升, 增加功率消耗, 使经济性降低。特别是某些对转速要求较严格的工业部门(如纺织、造纸等), 频率的偏差将严重影响产品质量, 甚至产生大量废品。另外, 频率偏差对发电厂本身将产生更为严重的影响。例如, 火力发电厂内锅炉的给水泵和风机之类的离心式机械, 当频率降低时其出力将急剧下降, 从而迫使锅炉的出力大为减少, 甚至引起紧急停炉, 这样势必进一步减少系统发电出力, 导致系统频率进一步下降。而且, 在频率降低的情况下运行时, 汽轮机叶片将因振动加大而产生裂纹或断掉, 从而缩短汽轮机的使用寿命。如果系统频率急剧下降的趋势不能及时得到制止, 则势必造成恶性循环以致整个系统发生崩溃。此外, 频率的变化还将影响到电钟的正确运行及计算机、自动控制装置等电子设备的准确工作等。

目前世界各国对频率变化的允许偏差的规定不一样, 有些国家规定为不超过 $\pm 0.5\text{Hz}$, 也有一些国家规定为不超过 $\pm 0.1 \sim 0.2\text{Hz}$ 。我国规定的电力系统的额定频率为 50Hz , 大容量系统允许频率偏差 $\pm 0.2\text{Hz}$, 中小容量系统允许频率偏差 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

根据频率的质量指标, 要求同一电力系统在任何一瞬间的频率值必须保持一致。在系统稳态运行情况下, 频率值取决于发电机组的转速。而机组的转速则主要取决于发电机组输出功率与输入功率的平衡情况。所以, 要保证频率的偏差不超过规定值, 首先应当维持电源与负荷间的有功功率平衡, 其次还要采取一定的调频措施, 即通过调节使有功功率保持平衡来维持系统频率的偏差在规定允许限值之内。

3) 波形。通常, 要求电力系统供电电压(或电流)的波形应为正弦波。为此, 首先要求发电机发出符合标准的正弦波电压。其次, 在电能变换、输送和分配过程中不应使波形发生畸变, 例如当变压器或电抗器铁芯饱和时或变压器无三角形接法的绕组时, 都可能导致波形畸变。此外, 还应注意消除电力系统中由于具有非线性特性的用电设备产生的谐波, 如换流装置、电气铁道和电弧炉等产生的谐波电流。

波形质量问题是由谐波污染引起的。波形质量用波形总畸变率来表示, 正弦波的畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值占基波有效值的百分比。保证波形质量就是限制系统中电压、电流中的谐波成分。

当电源波形不是标准的正弦波形时, 必然包含着多种高次谐波分量, 这些谐波分量的出现将影响电动机的效率和正常运行, 还可能使系统发生谐波谐振而危害电气设备的安全运行。例如, 由于谐波电流放大或谐振过电压烧坏变电所中无功补偿电容器的事故时有发生。此外, 谐波分量还将影响电子设备的正常工作并造成对通信线路的干扰, 以及其他不良后果等。

为了严格地保证波形的质量指标, 在发电机、变压器等的设计、制造时都已经考虑并采取了相应的措施。因此, 只要在运行中严格遵守有关规程的规定, 则保证波形质量是可能的。但是, 随着电力电子技术在电力系统中的应用和扩大, 由其产生的谐波污染日趋严重, 引起电能质量下降, 威胁着电力系统和各种电气设备的安全、经济运行。谐波与电压、频率等电能质量指标一样, 是电力系统运行的一项重要指标。对电力系统而言, 主要考核系统的谐波电压含有率。为了限制谐波电压分量, 首先应限制各个非线性负荷所产生的谐波电流, 其次是采取一些抑制谐波的措施。要求限制电力系统谐波绝对为零并不合理, 这会造成很大的投资负担。但是将谐波限制在一定范围内, 使电力系统运行的各种电气设备能保证正常工作、

免受干扰,是较为合理的。

(3) 为用户提供充足、持续的电力。电力系统要为国民经济的各个部门提供充足的电力,最大限度地满足用户的用电需求,首先应按照电力先行的原则做好电力系统发展的规划设计,加快电力工业建设以确保电力工业的建设优先于其他工业部门。其次,要提高运行操作水平,加强现有设备的维护,进行科学管理,以充分发挥潜力,防止事故的发生或减少事故次数。

(4) 提高电力系统运行经济性。为使电能在生产、输送和分配过程中效率高、损耗小,以期最大限度地降低电能成本,实现发电厂和电力网的经济运行,就要最大限度地降低电厂的燃料消耗率(或水的消耗率)、用电率及线路损耗等。电能成本的降低不仅会使各用电部门的成本降低,更重要的是节省了一次能源,因此会带来巨大的经济效益和长远的社会效益。为了实现电力系统的经济运行,除了进行合理的规划设计外,还须对整个系统实施最佳的经济调度,实现火电厂、水电厂、核电厂和其他类型发电厂负荷的合理分配,同时还要提高整个系统的管理技术水平。

上述对电力系统的要求,是相互联系的,有的也是相互矛盾的,应从实际出发,采取切实可行的措施,提高电力系统安全、经济运行水平。一般来讲,一个可靠性指标差的电力系统就谈不上优质和经济,而电能质量差的电力系统也不会是可靠的和经济的。对可靠和优质的要求,有时又会与经济性发生矛盾,因此,在考虑满足某项要求时,必须兼顾其他要求。

第二节 我国电力工业发展历程

一、电力工业发展概况

电能在我国的应用已有 100 多年历史。1879 年,上海外滩实现 10 马力(1 马力=735W)发电机运转。1882 年,英商在上海乍浦路建设的 12kW 电灯厂正式对外供电,1912 年,云南螳螂川的装机容量为 $2 \times 240\text{kW}$ 的石龙坝水电站开始发电。这些是中国电力工业较为公认的起点。此后我国电力工业经历了一段缓慢的发展时期,至 1949 年全国发电设备的总装机容量 184.86 万 kW(当时占世界第 21 位),年发电量仅 43.1 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (当时占世界第 25 位),人均年占有电量不足 $10\text{kW} \cdot \text{h}$ 。当时中国的电力系统大多是大城市发、供电系统,跨地区的有东北中部和南部的 254kV、220kV 电力系统、东北东部的 110kV 电力系统(分别以丰满、水丰和镜泊湖等水电站为中心)及冀北电力系统。

新中国成立以来,特别是改革开放以来,电力工业走过了一条不平凡的发展道路,发展速度不断加快,发展质量日益提高,服务党和国家工作大局、服务经济和社会发展、服务电力用户的能力逐步增强,取得了举世瞩目的成绩,实现了历史性的跨越。到 1978 年改革开放前,全国火电装机容量达 4390 万 kW,年人均用电量已近 $200\text{kW} \cdot \text{h}$ 。我国已经建立起独立的、较为完整的电力工业体系。1978 年实行改革开放政策后,我国的电力工业取得了突飞猛进、举世瞩目的辉煌成就。装机容量从 1987 年末的 1 亿 kW 到 1995 年 3 月突破 2 亿 kW,前后只用了七年多时间,这在世界电力发展史上是罕见的。到 1995 年来,全国年发电量已达到 1 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,仅次于美国而跃居世界第二位;全国发电设备总装机容量达 2.1 亿 kW,当时居世界第三位。到 2000 年末全国发电装机容量超过 3 亿 kW,年发电量超 1.3 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,均居世界第二位,人均年占有电量 $1000\text{kW} \cdot \text{h}$ 左右。2010 年,我国全社会用电量 4.19 万亿