



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电力系统

李海燕 主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



中国石化出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

电力系统

第4版 下册

中国石化出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电力系统

主 编 李海燕
编 写 连小州 余龙辉 侯荣升
主 审 陈家瑁



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

《电力系统》一书是为实现培养以全面素质教育为基础、以综合职业能力为本位的人才为宗旨编写的,针对高职、大专层次的教学用书。

全书的内容包括:电力系统基本概念及元件的模型和参数的计算;电力系统故障分析;电力系统稳态分析和电力系统的运行与调整;电力系统稳定分析的概念。

本书适用于电气工程及其自动化、发电厂及电力系统、继电保护及自动化、农村电气化,供用电技术等专业。也可作为本科院校及电力系统相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统/李海燕主编. —北京:中国电力出版社, 2006

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 4833 - 9

I. 电... II. 李... III. 电力系统—职业教育—教材
IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 114367 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 12 月第一版 2006 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 438 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

《电力系统》一书是为了适应新时期职业教育制度和教育模式改革的需要,满足现代电力系统对生产、研究、分析、管理第一线高层次实用型人才的需求,为培养以全面素质教育为基础、以综合职业能力为本位的人才而编写的。

本教材是针对高职、大专层次的教学用书,适用于电气工程及其自动化、发电厂及电力系统、继电保护及自动化、农村电气化,供用电技术等专业。也可作为本科院校及电力系统相关专业工程技术人员的参考用书。

本教材在内容和组织上力图满足各专业方向的共同需要,充分体现整和专业课程教材要求的综合性、工程性的特点。“电力系统”既是一门专业基础课程,又是一门专业课程。它是把其专业需要的有关基础理论和专业技能应用到现代电力系统工程实践中的重要知识纽带,具有承上启下的作用,并为学生今后从事电力系统专业工作打下基础。

在内容取舍及安排叙述上,力求按照初学者的认识规律循序渐进,由简单到复杂,注重理论联系实际。在叙述发电机基本方程这部分内容时,引入以自感、互感为基础的电路分析方法,取代了坐标转换传统分析方法,使学生易于接受。

针对学生计算机应用能力培养的要求,在本教材中加入了我们自己用 MATLAB 软件开发的节点阻抗矩阵、电力系统三相短路、电力系统不对称短路、牛顿法潮流计算、PQ 分解法潮流计算等计算程序,使学生采用类似数学公式的 MATLAB 语言编程,降低了编程的难度,有利于教学效果的提高。

全书分为四篇共十七章,其中,第一、二、三、四章为电力系统基本概念及其元件的模型和参数的计算;第五、六、七、八、九章为电力系统故障分析;第十、十一、十二、十三、十四为电力系统稳态分析和电力系统的运行与调整;第十五、十六、十七为电力系统运行的稳定性分析的概念。全书内容可在两个学期内完成,第一学期讲授第一、二篇,第二学期讲授第三、四篇,带*号的内容供选用。

全书的第一、二、三、四、五、六、七、九、十五、十六、十七章由李海燕编写,第十、十一、十二、十三章由连小洲编写,第八章由余龙辉编写,第十四章由侯荣升编写。采用 MATLAB 软件编写的程序由李海燕完成,全书由李海燕担任主编,连小洲任副主编,陈家瑁审阅了书稿。

本书的编写得到了付小平院长大力支持,在此表示衷心地感谢,同时对本书所列参考书目的各位作者表示感谢。

由于水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,恳请读者给予指正。

编者

2006年5月

目 录

前言

第一篇 电力系统基本概念、参数与模型

第一章 电力系统的基本概念	1
1-1 电力系统的组成	1
1-2 电力系统的额定电压和额定频率	2
1-3 对电力系统运行的基本要求	4
1-4 电力系统的负荷和负荷曲线	8
1-5 电力系统的接线	11
小结	17
习题	17
第二章 电力网各元件的等值电路和参数计算	18
2-1 三相电路	18
2-2 架空输电线路的参数	20
2-3 架空输电线的等值电路	24
2-4 变压器的等值电路和参数	27
2-5 标幺制及其在电力系统计算中的应用	34
小结	40
习题	41
第三章 电力网络的数学模型	42
3-1 节点导纳矩阵	42
3-2 节点阻抗矩阵	46
小结	49
习题	50
第四章 同步发电机的电动势方程	51
4-1 理想同步发电机	51
4-2 同步发电机的对称稳态运行	52
小结	55
习题	55

第二篇 电力系统故障分析

第五章 电力系统三相短路的暂态过程	56
5-1 短路的一般概念	56
5-2 恒定电势源电路的三相短路	58
5-3 同步发电机三相突然短路的电流波形	61
5-4 无阻尼绕组同步发电机突然三相短路	61
*5-5 有阻尼绕组发电机的突然三相短路	68
*5-6 带负荷条件下发电机的突然短路	72
5-7 强行励磁对短路暂态过程的影响	74
小结	75
习题	76
第六章 电力系统三相短路的实用算法	77
6-1 网络变换及化简	77
6-2 起始次暂态电流和冲击电流的实用计算	83
6-3 计算曲线的应用	87
6-4 短路电流周期分量的近似计算	92
小结	95
习题	95
第七章 电力系统各元件的序阻抗和等值电路	98
7-1 对称分量法在不对称短路计算中的应用	98
7-2 同步发电机的负序和零序电抗	102
7-3 变压器的零序等值电路及其参数	103
7-4 架空输电线路的零序阻抗与等值电路	108
7-5 综合负荷的序阻抗	110
7-6 电力系统各序网络	111
习题	113
第八章 电力系统不对称故障的分析和计算	115
8-1 简单不对称短路的分析计算	115
8-2 不对称短路时网络中电流和电压的计算	121
*8-3 非全相断线的分析计算	125
习题	128
第九章 电力系统故障分析的计算机计算方法	131
9-1 三相短路的计算机计算方法	131
9-2 简单不对称短路故障的计算机计算方法	135
小结	144
习题	144

第三篇 电力系统稳态分析

第十章 简单的电力系统潮流计算	146
10-1 网络元件的功率损耗和电压降落	146
10-2 开式网的电压和功率分布计算	151
10-3 简单闭式网络的功率分布计算	155
10-4 电力网络潮流的调整控制	160
小结	161
习题	162
第十一章 电力系统潮流计算的计算机算法	163
11-1 电力系统节点分类与迭代计算简述	163
11-2 牛顿-拉夫逊法潮流计算	168
11-3 P-Q 分解法潮流计算简述	182
小结	187
习题	188
第十二章 电力系统的无功功率平衡和电压调整	189
12-1 概述	189
12-2 电力系统的无功功率平衡	190
12-3 电压调整的基本概念	196
12-4 改变发电机励磁调压	199
12-5 改变变压器变比调压	200
12-6 改变电力网的无功功率分布调压	205
12-7 改变电力网的参数调压	209
小结	213
习题	213
第十三章 电力系统的有功功率平衡和频率调整	215
13-1 概述	215
13-2 电力系统的频率特性	216
13-3 电力系统的频率调整	220
13-4 各类发电厂的合理组合	225
小结	227
习题	228
第十四章 电力系统的经济运行	230
14-1 电力系统有功功率的最优分配	230
14-2 电力网中的电能损耗	235
14-3 降低电力网电能损耗的措施	240
小结	243
习题	243

第四篇 电力系统运行的稳定性

第十五章 电力系统运行稳定性概论	245
15-1 电力系统的机电特性	245
15-2 自动励磁调节器对功率特性的影响	251
小结	254
习题	254
第十六章 电力系统静态稳定性	255
16-1 电力系统静态稳定性的基本概念	255
16-2 自动励磁调节器对静态稳定的影响	257
16-3 提高电力系统静态稳定性的措施	262
小结	263
习题	264
第十七章 电力系统的暂态稳定性的概念	265
17-1 暂态稳定分析计算的基本假设	265
17-2 简单电力系统暂态稳定性分析	266
17-3 提高电力系统暂态稳定性的措施	270
小结	273
习题	274
附录 短路电流周期分量计算曲线数字表	275
参考文献	281

第一篇 电力系统基本概念、参数与模型

第一章 电力系统的基本概念

内容提要

电力系统、动力系统、电力网的基本概念；发电机、变压器额定电压的确定；负荷和负荷曲线；架空线路和电缆线路的结构。

1-1 电力系统的组成

电能是现代社会和经济发展中最重要、也是最方便的能源。电气化是国家现代化的必要条件，电力技术是通向可持续发展的桥梁。为了实现可持续发展，应尽可能把一次能源转换为电能使用，尽可能提高电力在终端能源中的比例。这是因为，在保证相同的能源服务水平的前提下，使用电力这种优质能源具有最清洁、方便、易于控制、效率较高。它可以方便地转化为其他形式的能源，例如，机械能、热能、光能、化学能等，它的输送和分配易于实现，它的应用规模也很灵活。因此，电能被极其广泛地应用于工农业、交通运输业、商业贸易、通信以及人民的日常生活中。以电作为动力源，可以促进工农业生产的机械化和自动化，保证产品质量，大幅度提高劳动生产率。如果能将大量分散燃用的化石燃料都高效洁净地转换为电力使用，人们赖以生存的环境、产品质量和生活质量就会大大改善。提高电气化程度，以电能代替其他形式的能量，是节约总能源消耗的一个重要途径。

发电厂把其他形式的能量转换成电能，电能经过变压器和不同电压等级的输电线路输送并被分配给用户，再通过各种用电设备转换成适合用户需要的其他能量。这些生产、输送、分配和消费电能的各种电气设备连接在一起而组成的整体称为电力系统。电力系统的设备包括：发电、输电、变电、配

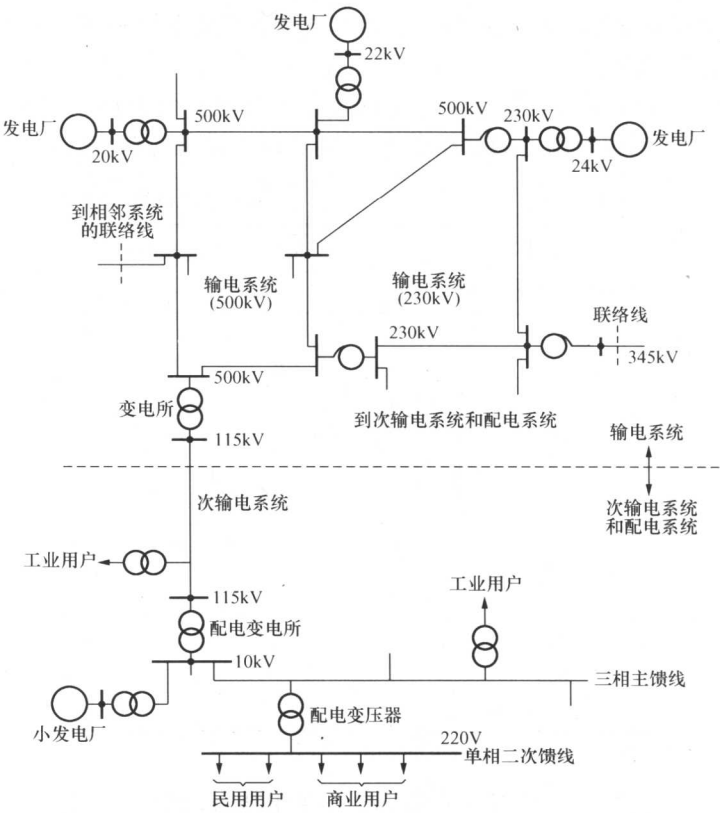


图 1-1 电力系统的基本构成

电、用电设备以及相关的继电保护、调度通信、远动和自动调控设备等所谓二次系统的种种设备。火电厂的汽轮机、锅炉、供热管道和热用户，水电厂的水轮机和水库等则属于与电能生产相关的动力部分。电力系统中输送和分配电能的部分称为电力网，它包括升、降压变压器和各种电压等级的输电线路（见图 1-1）。在交流电力系统中，发电机、变压器、输配电设备都是三相的，这些设备之间的连接状况，可以用电力系统接线图来表示。为简单起见，电力系统接线图一般都是画成单线的，如图 1-1 所示。

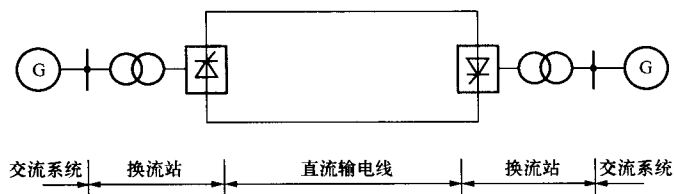


图 1-2 直流输电系统示意图

直流输电系统由换流设备、直流线路以及相关的附属设备组成。图 1-2 为直流输电系统的示意图。

由于电工技术的发展，直流输电作为一种补充的输电方式得到了实际应用。在交流电力系统内或者在两个交流电力系统之间嵌入直流输电系统，便构成了现代交直流联合系统。

1-2 电力系统的额定电压和额定频率

电气设备都是按照指定的电压和频率设计制造的，这个指定的电压和频率，称为电气设备的额定电压和额定频率。当电气设备在此电压和频率下运行时，将具有最好的技术性能和经济效果。

为了进行成批生产和实现设备的互换，各国都制定有标准的额定电压和额定频率。表 1-1 为我国制定的三相交流 3kV 及以上设备与系统的额定电压的数值。

表 1-1 3kV 以上的额定电压

受电设备与 系统额定线电压 kV	供电设备额定线电压 kV	变压器额定线电压 kV	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15 *	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	13.8 *	13.8	—
	15.75 *	15.75	—
	18 *	18	—
	20 *	20	—
35	—	35	38.5
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	—

注 带 * 号的数字表示发电机专用。

从表 1-1 中可以看到，同一个电压等级下，各种设备的额定电压并不完全相等。为了使各种互相连接的电气设备都能运行在较有利的电压下，各电气设备的额定电压之间有一个

相互配合的问题。

电力线路的额定电压和系统的额定电压相等，有时把它们称为网络的额定电压，如 220kV 网络等等。

发电机的额定电压与系统的额定电压为同一等级时，发电机的额定电压规定要比系统的额定电压高 5%。

变压器额定电压的规定略为复杂。根据变压器在电力系统中传输功率的方向，规定变压器接受功率一侧的绕组为一次绕组，输出功率一侧的绕组为二次绕组。一次绕组的作用相当于受电设备，其额定电压与系统的额定电压相等，但直接与发电机连接时，其额定电压则与发电机的额定电压相等。二次绕组的作用相当于供电设备，考虑其内部电压损耗，规定其额定电压要比系统的额定电压高 10%，如果变压器的短路电压小于 7% 或直接（包括通过短距离线路）与用户连接时，则规定要比系统的额定电压高 5%。为了适应电力系统运行调节的需要，通常在变压器的高压绕组上设计制造有分接抽头。分接抽头用百分数表示，即表示分接抽头电压与主抽头电压的差值占主抽头电压的百分值。对同一电压级的变压器，作为升压变压器或是降压变压器，即使分接抽头百分值相同，但分接抽头的电压的确不同。图 1-3 所示为用线电压表示的 220kV 电压级具有分接抽头 ($1 \pm 2 \times 2.5\%$) V_N 变压器的各分接抽头电压，可见，对于 +5% 分接抽头，升压变压器为 $242 \times 1.05 \text{ kV} = 254 \text{ kV}$ ，降压变压器则为 $220 \times 1.05 \text{ kV} = 231 \text{ kV}$ 。

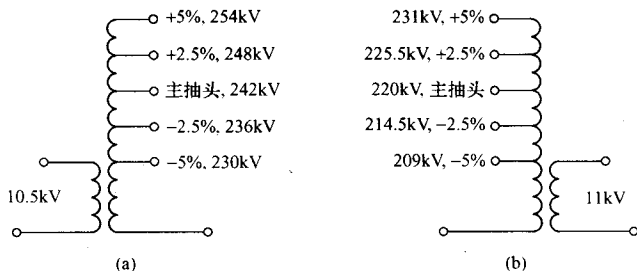


图 1-3 用线电压表示的分接抽头额定电压

(a) 升压变压器；(b) 降压变压器

我国规定，电力系统的额定频率为 50Hz，是我国电力生产的标准频率，简称工频。

【例 1-1】 电力系统接线图如图 1-4 所示，其中标明了各级电力线路的额定电压（单位 kV）。试求发电机和变压器绕组的额定电压。

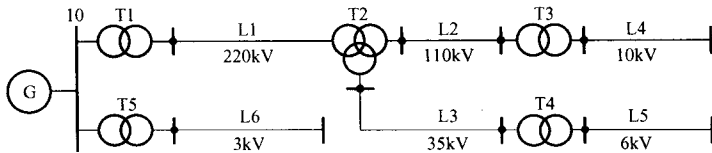


图 1-4 例 1-1 的附图

解 发电机 G 的额定电压为 10.5kV；

变压器 T1 低压侧额定电压为 10.5kV，高压侧额定电压为 242kV；

变压器 T2 高压侧额定电压为 220kV，中压侧额定电压为 121kV，低压侧额定电压为 38.5kV；

变压器 T3 高压侧额定电压为 110kV，低压侧额定电压为 11kV；

变压器 T4 高压侧额定电压为 35kV，低压侧额定电压为 6.6kV；

变压器 T5 高压侧额定电压为 10.5kV，低压侧额定电压为 3.15kV。

1-3 对电力系统运行的基本要求

现代电力系统的作用,是向国民经济各部门及城乡居民提供合格的电能。因为大电力系统的优越性是显而易见的,所以现代电力系统的规模越来越大,不仅突破了市界、省界,而且世界上还形成了许多跨区、跨国电力系统。但是大电网一旦发生事故,如不能迅速消除,其后果也是相当严重的。在大电力系统运行中,任何不规范的行为,都可能影响其优越性的发挥,甚至造成严重损失。因此,客观上就要求电力系统运行必须严格管理,使电力系统管理规范化、制度化、法律化。

改革开放以来,我国电力工业的发展取得了令人瞩目的成就。到2005年底,全国发电装机容量达4亿kW,年发电量已居世界第二位。作为重要的基础产业和国民经济的先行官,为了适应国民经济和社会发展的需要,电力工业必须适当超前发展。

电力工业的特点是发电、输电、变电、用电同时完成。生产、输送、分配和消费的各环节组成为一个整体。电力工业与别的工业系统相比较,电力系统的运行具有如下的明显特点。

一、电力工业生产的主要特点

1. 电力生产的同时性与快速性

发电、输电、配电、供电是同时完成的,电能不能储存,必须用多少,发多少。电能输送过程迅速,其传输速度与光速相同,每秒达到30万km,即使相距几万千米,发、供、用,都是在同一瞬间实现。

2. 电力生产的整体性

发电厂、变压器、高压输电线路、配电线路和用电设备在电网中形成一个不可分割的整体,缺少任一环节,电力生产都不可能完成;相反,任何设备脱离电网都将失去意义。

3. 电力生产的连续性与实时性

电能的质量需要实时、连续的监视与调整;电网事故发展迅速,涉及面大,需要实时安全监视。

二、现代电力系统的主要特征

1. 现代电力系统应该是一个坚固的、由超高电压等级系统构成主网架的大电网

目前我国已形成几个大的跨省电网和独立省网,并逐步进行互联,这些电网大都出现500kV电压等级网络结构。

电力工业生产水平的提高必然要导致发展大电网,要进行全国联网,电网必须加强500kV网架的建设,从而形成坚固的500kV网架。因为大电网具有十分显著的优越性。

(1) 发展大电网可以合理利用能源,有利于水力资源开发和低质煤的利用。

(2) 大电网可以安装大容量、高效能火电机组、水电机组和核电机组,有利于降低造价,节约能源,加快电力建设速度。

(3) 大电网可以利用时间差错开用电高峰,各地区用电的不同时性削减了尖峰负荷,因而可以降低用电高峰负荷,减少备用容量,从而节省全网装机容量。

(4) 大电网可以在各地区之间互供电力,互通有无,互为备用,增强抵抗事故能力,提高电网安全水平,提高供电可靠性。

(5) 大电网能承受较大的冲击负荷, 有利于改善电能质量。

(6) 水电可以跨流域调节, 并在更大范围内进行水火电联合经济调度。

2. 现代联合电网的各个电网之间应具有较强的联系

现代联合电网中各个电网间具有较强的联系, 可以充分发挥大电网的优越性, 合理利用能源, 提高电网运行的经济性, 实现事故情况下互相支援。

3. 现代电网应简化电力系统的电压等级和提高供电电压

我国目前各电网的电压等级比较多, 如 500kV、220kV、110kV、35kV 等。随着电网的发展, 为了便于设备生产、电网管理和提高运行的经济性, 减少变压次数, 各国正在进行电压等级的整理、简化和统一。

随着城市用电的增长, 城市中高层建筑的增多, 负荷密度不断增高, 城市供电电压也有增高的趋势。我国城市供电电压确定为 10kV, 适应不了现代化大城市发展的需要。因此应加强城市电网的建设, 实行电压深入供电方式, 中心城市应形成 500kV 外环供电电网, 完善分区的 220kV 供电网络, 以适应现代化大城市发展的需要。

4. 现代电网应具有足够的调峰容量, 能够实现自动发电控制 (AGC)

随着人民生活水平的提高, 生活用电量在逐步增加, 用电负荷率在逐步降低, 电网的峰谷差也在逐渐加大。

峰谷差的增大, 给电网的调峰带来相当大的困难。为了满足电网的调峰, 有条件的地方要优先开发水电以满足调峰的需要。在规划大型火电机组时, 需要考虑具有较好调峰性能的机组。另外, 建设抽水蓄能电站调峰填谷, 以提高系统运行的经济性和可靠性, 这在许多发达国家已获得巨大的经济效益。还有就是加强对地方、企业自备电厂调峰工作的管理, 避免出现负荷高峰时受电、低谷时向系统送电的逆调峰现象, 增加电网的调峰困难。现代电网应实现自动发电控制 (AGC)。

5. 现代电网应具有较高的供电可靠性

现代电网应具有足够的发电容量, 电网备用容量应保持在最大负荷的 20%~30%, 其中旋转备用容量一般等于尖峰负荷的 5%, 或者等于最大的运行单机容量, 以满足供电可靠性的要求。例如, 美国大部分电力公司规定电力不足概率为 10 年中有一天缺电; 法国电网全年断电时间要求小于 50min, 即损失电量与全年供电量之比小于万分之一; 日本早在 1975 年的供电可靠性就已达到使人们在正常生活中觉察不到还有停电事故发生的地步。

为了提高对现代化大城市供电的可靠性, 超高压电网已进入城区, 并以多重环形网向城市供电。例如英国伦敦是由 275kV 和 400kV 环网供电的; 日本东京是由两个 500kV 环网供电的。我国也将逐步实现这样的电网结构。

6. 现代电网应具有电能量自动计量系统

电能量自动计量系统是实施电网现代化运营的主要手段之一。随着我国经济体制改革的深化, 电力市场已初步形成, 电网步入商业化运营, 多种上网电价, 不同电量分配, 要按电网最佳经济效益运行。合理的购电与再分配, 要求电网必须采用相应的电能量自动计量系统, 以达到分时分类计费, 实现电网最佳的经济效益和社会效益。

电能量自动计量系统还可以为电网企业掌握的潮流分布和电网的损耗提供数据, 为电力负荷预测及管理, 为电网规划、费率研究提供科学依据。

电能量自动计量系统应具备的主要功能为:

(1) 厂站终端应具有精确测量和预处理功能。

(2) 主站终端应将收集到的数据进行综合分析处理、存档, 并进行屏幕显示和打印制表(计费单)。

(3) 应具有将电能分类分时功能, 即具有同一时钟系统。

(4) 人机界面友好, 方便特权用户, 并能保存一定时间。

(5) 该系统应有定期自检、自诊断功能, 保证可靠。

7. 现代电网应具有相应的安全稳定控制系统

为确保安全、稳定、优质、经济运行, 提高供电可靠性, 现代电网应具有相应的安全稳定控制系统。

8. 现代电网应具有高度自动化的监控系统

电网调度自动化是电力系统调度实现电网安全经济运行的一项重要技术措施, 它能够收集运行信息, 进行安全监视, 随时正确地判断电网运行状况, 及时调整有功、无功负荷。当发生事故时, 调度员通过自动装置能及时掌握运行情况, 迅速进行处理, 防止扩大事故, 减少停电损失, 稳、准、快地处理异常情况和事故。

随着科学技术的进一步发展, 电网调度自动化系统可以代替调度员做更多的工作。如自动调整电网的频率、电压; 自动处理电网出现的各种异常和事故; 通过最优经济调度自动调整电厂机组的出力, 最大限度地来降低网损和煤耗; 自动统计各种发电、用电量及各种统计数据等。因此, 电网调度自动化是促进和发展电力生产的重要工作, 是电力生产中不可缺少的组成部分。

9. 现代电网应具有高度现代化的通信系统

电网通信是电力调度、电网自动化和现代电网管理的重要组成部分。它要求迅速、准确、清晰、可靠。要建立以数字微波为主, 包括电力载波、卫星通信、光纤通信、移动电话等的电网通信体系, 形成电话、数据、传真和图象信息的综合数字通信网络, 全面完成管理信息系统的现代化建设。

10. 现代电网必须具有高素质的职工队伍

现代电网应有一支技术力量雄厚, 有丰富理论和实践经验、素质较高, 善于应用电子计算机系统和工程理论来研究、分析、管理、指挥这个巨型复杂系统的科研、专业技术人才队伍。总之, 只有认识和理解现代电网的主要特征, 才能做到有的放矢, 有目标地去研究、分析、指挥和管理我国的电力系统运行, 做好电力系统的运行管理工作。

三、对现代电力系统的基本要求

随着社会的发展和科学技术的进步, 电能与人类的生存和发展息息相关, 而且越来越密切。与此同时, 对供电可靠性和电能质量的要求也越来越高。

1. 现代电力系统是适应社会发展的需要而产生并为其服务的

根据电能产、供、销同时进行的特点, 以及电能质量要求高, 电力系统故障影响大的特点, 现代电力系统必须保障电网安全, 以适应经济建设和人民生活用电的需要。

2. 保证良好的电能质量

电能的电压和频率以及谐波分量等, 不仅直接影响电力用户产品的质量, 而且直接关系电力系统本身的安全。

频率反映了电力系统有功功率供需平衡的基本状态。在电网正常运行时, 电网各点都处

在同一运行频率下。当电力系统中有功功率能够实现平衡时，即各发电厂的总有功出力可以满足全网电力负荷的总需求，能随负荷的变化而及时调整时，电网的运行频率将保持为额定值。如果电力系统的有功功率供大于求，电网的运行频率将高于额定值；反之，则将低于额定值。

电力系统运行频率偏离额定值过多，会给电力用户带来不良影响。对汽轮发电机组，非额定运行频率能给汽轮机叶片带来损伤。当供电频率下降时，驱动厂用电电动机的功率迅速下降，减少了发电机组的机械输入功率，从而使发电机输出的电功率减少，更加剧了供需间的不平衡，进一步促使频率下降，甚至会造成全厂停电。对于核能电厂，其反应堆冷却介质泵对供电频率有着严格的要求，如果不能满足，这些泵将自动断开，使反应堆停止运行。

为了防止电力系统频率过低及频率崩溃事故造成电力系统全停，各电网都配置了低频减负荷装置。当电网出现故障而引起有功功率缺额时，分级快速切除部分次要负荷，以防止造成频率崩溃而使全网停电。

电压是电力系统无功功率供需平衡的具体表现，无功功率的传输不但在电源内部产生很大的电压降落，并且沿传输途径也有很大的电压降落，因而系统中各中枢点的电压都与本地区无功功率平衡有关。由于无功功率供需分布的不同，同一时刻电网中不同点的电压也不同，无功功率主要应靠就地实现平衡。

电压过高或过低均能造成用电设备的损坏，并能降低产品的质量和生产效率，甚至使某些设备不能工作。随着电力系统的发展，电压已不单是一个供电质量问题，而且还关系到电力系统的安全运行和经济运行。电压和频率是电气设备设计和制造的基本技术参数，也是衡量电能质量的两个基本指标。

为了实现电力系统的电压控制和调整，除发电机调整所发无功以外，还必须在电力系统的适当地点装设一定数量的调相机、电容器和电抗器等无功补偿设备，以满足和适应电力系统电压控制和调整的要求。并且保证事故后系统最低电压仍大于规定值，防止出现电压崩溃事故和稳定破坏事故。

我国采用的额定频率为 50Hz，正常运行时允许的偏移为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$ 。用户供电电压的允许偏移对于 35kV 及以上电压级为额定值的 $\pm 5\%$ ，10kV 及以下电压级为 $\pm 7\%$ 。为保证电压质量，对电压正弦波形畸变率也有限制，波形畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值对基波有效值的百分比，对于 6~10kV 供电电压应不超过 4%，0.38kV 电压应不超过 5%。电压和频率超出允许偏移时，不仅会造成废品和减产，还会影响用电设备的安全，严重时甚至会危及整个系统的安全运行。国外的大电网电能质量都很高，如西欧联合电网允许频率差为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，实际运行均在上 0.1Hz 以内，电钟与标准钟的误差规定在 $\pm 20\text{s}$ ，实际在 $\pm 2\text{s}$ 之内。英国电网，系统频率规定运行偏差为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，实际运行均在 0.02Hz 以内，电钟与标准钟误差实际在 $\pm 10\text{s}$ 以内，运行电压波动在 $\pm 5\%$ 以内。

3. 提高电网运行的经济性

电能生产的规模很大，消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重很大，而且电能又是国民经济的大多数生产部门的主要动力源。因此，提高电能生产的经济性具有十分重要的意义。

为了提高电力系统运行的经济性，必须尽量地降低发电厂的煤耗率（水耗率）、厂用电率和电力网的损耗率。这就是说，要求在电能的生产、输送和分配过程中减少耗费，提高效率。为此，应做好规划设计，合理利用能源；采用高效率低损耗设备；采取相应的措施来降

低网损；实行经济调度等等。电力工业的生产要消耗大量的一次能源。火电厂用煤、油、核能、天然气等燃料发电。水电厂利用水力资源发电。高温高压的大型火电机组煤耗低，小机组煤耗高，水电机组发电耗水量是由水位决定的。随着用电负荷的变化，经济合理地调整这些机组的发电量，是节约能源的关键。

经济调度还要考虑电网的最优潮流控制，尽量减少窜动功率来降低电能在电网中的损耗。

作为现代化大电力系统，应根据电力系统的装机容量，适当建设大机组，逐步淘汰煤耗高的小机组，不断增加装机容量，满足用电负荷增长的需要；打破各类机组间的界线，并加强电力系统结构的建设。运用现代的科学技术和手段，真正做到电力系统的最优经济调度。

全面地提高电力系统的安全运行水平，就为保证对用户的不间断供电创造了最基本的条件。根据用户对供电可靠性的不同要求，目前我国将负荷分为以下三级：

第一级负荷。对这一级负荷中断供电的后果是极为严重的。例如，可能发生危及人身安全的事故；使工业生产中的关键设备遭到难以修复的损坏，以致生产秩序长期不能恢复正常，造成国民经济的重大损失；使市政生活的重要部门发生混乱等。

第二级负荷。对这一级负荷中断供电将造成大量减产，使城市中大量居民的正常活动受到影响等。

第三级负荷。不属于第一、二级的，停电影响不大的其他负荷都属于第三级负荷，如工厂的附属车间，小城镇和农村的公共负荷等。对这一级负荷的短时供电中断不会造成重大的损失。

对于以上三个级别的负荷，可以根据不同的具体情况分别采取适当的技术措施来满足它们对供电可靠性的要求。

目前我国火电厂装机占总装机容量的70%以上，在今后相当长一段时间内火电厂发电用一次能源仍以煤炭为主，煤炭燃烧会产生大量的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、粉尘和废渣等，这些排放物都会对生态环境造成有害影响。因此，限制污染物的排放量，使电能生产符合环境保护标准，也是对电力系统运行的一项基本要求。

1-4 电力系统的负荷和负荷曲线

一、电力系统的负荷

电力系统的负荷就是系统中所有用电设备消耗功率的总和，也称电力系统综合用电负荷。它包括感应电动机、同步电动机、电热炉、整流设备、照明设备等。根据用户的性质，用电负荷也可以分为工业负荷、农业负荷、交通运输业负荷和人民生活用电负荷等。对于不同行业上述各类用电设备消耗功率所占比重是不同的。表1-2所示是几种工业部门不同用电设备消耗功率比重的典型统计数字，有一定的代表性。

表 1-2

几个工业部门用电设备比重的统计

单位：%

用电设备	综合性 中小工业	纺织工业	化学工业 (化肥厂、焦化厂)	化学工业 (电化厂)	大型机械 加工工业	钢铁工业
感应电动机	79.1	99.8	56.0	13.0	82.5	20.0