

普通高等教育



“十五”

PUTONG
GAODENGJIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

电力系统概论

杨淑英 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENGJIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

761/27
Y257

电力系统概论

杨淑英 编
张文勤 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为高等学校非电专业(如集控专业、企管专业、高电压技术专业、电气技术专业、电力电子技术专业、供用电技术专业等)使用的教材。

全书共分七章,包括:电力系统的基本概念;电力系统各元件的数学模型;电力系统正常运行的潮流分布;电力系统运行状况的优化与调整;电力系统故障分析和计算方法;电力系统继电保护的基础知识以及电力系统运行的稳定性分析。本书概括了电力系统的全貌,涉及电力系统的“一次部分”和“二次部分”,内容全面,实用性强,理论推证少。对非电力专业深度合适,并且每章有习题,书后附有参考答案。

本书可作为高等学校师生的课程教材,也可作为从事电力系统的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统概论/杨淑英编. -北京:中国电力出版社, 2003

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-1606-1

I. 电... II. 杨... III. 电力系统-高等学校-教材 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 045443 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 437 千字

印数 0001—3000 册 定价 29.00 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)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课

程可以有多本教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222）

中国电力教育协会

二〇〇二年八月

前言

本书为高等学校非电力专业的使用教材。多年来,《电力系统稳态分析》和《电力系统暂态分析》为全国高等学校电力系统及其自动化专业(电力专业)使用的专业课程教材。随着教学改革的发展,很多电力大学增设了新的专业,如集控专业、企管专业、高电压技术专业、电气技术专业等非电力专业。为使学生在有限的学时内较全面地学习和掌握电力系统的基本知识,编写了《电力系统概论》一书。全书共分七章,概括了电力系统“一次部分”和“二次部分”的知识,每章配有习题。

本书由华北电力大学张文勤教授主审,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。由于编写水平有限,书中难免有缺点、错误,诚恳地希望读者提出批评指正。

编 者

2003年5月

目 录

序 前言

第一章 电力系统的基本概念	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 电力系统运行的特点和要求	5
第三节 电力系统的负荷	7
第四节 电力系统的接线方式和额定电压	10
第五节 电力线路的结构	18
习题	23
第二章 电力系统各元件的参数及等值网络	25
第一节 电力系统各元件的参数和等值电路	25
第二节 简单电力系统的等值网络	46
习题	54
第三章 电力系统的潮流分布	57
第一节 电力线路运行状况的分析与计算	58
第二节 变压器运行状况的分析与计算	64
第三节 辐射形网络中的潮流分布	67
第四节 闭环网中的潮流分布	75
第五节 电力网络的简化	84
第六节 电力系统潮流分布的计算机算法	90
习题	111
第四章 电力系统运行状况的优化和调整	116
第一节 电力系统无功功率的平衡和电压调整	116
第二节 电力系统有功功率的优化分配及频率调整	140
习题	158
第五章 电力系统故障分析与计算	161
第一节 故障概述	161

第二节 由无限大功率电源供电的三相短路分析	163
第三节 电力系统三相短路的实用计算	169
第四节 简单不对称故障的分析与计算	180
习题	200
第六章 电力系统继电保护	204
第一节 继电保护的基本知识	204
第二节 单侧电源网络相间短路的电流保护	207
第三节 发电机的继电保护	218
第四节 电力变压器的继电保护	223
习题	229
第七章 电力系统运行的稳定性分析	232
第一节 电力系统稳定性的基本概念	232
第二节 旋转电机的机电特性	234
第三节 电力系统运行的静态稳定性	239
第四节 电力系统运行的暂态稳定性	246
习题	261
附录	264
附录 A 常用参数	264
附录 B 短路电流运算曲线	277
附录 C 常用继电器及触点的表示方法	282
参考答案	283
参考文献	292

第一章

电力系统的基本概念

本章阐述电力系统的基本概念和电力线路的结构两个方面的问题，从中了解电力系统的重要性和整体性。

第一节 电力系统概述

一、电力系统、电力网及动力系统

电力系统通常是由发电机、变压器、电力线路、用户等组成的三相交流系统。如图 1-1 所示为一简单电力系统，图 1-2 表示一个复杂的电力系统。

电力系统中的电气设备也称电力系统的元件，它们之间有区别，又能互相作用。发电机

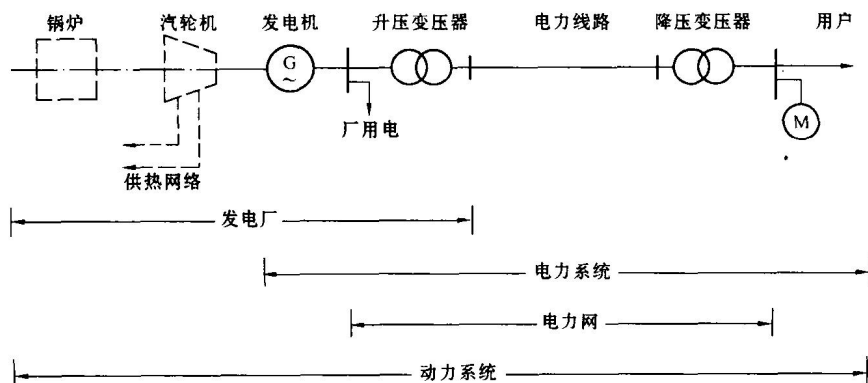


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

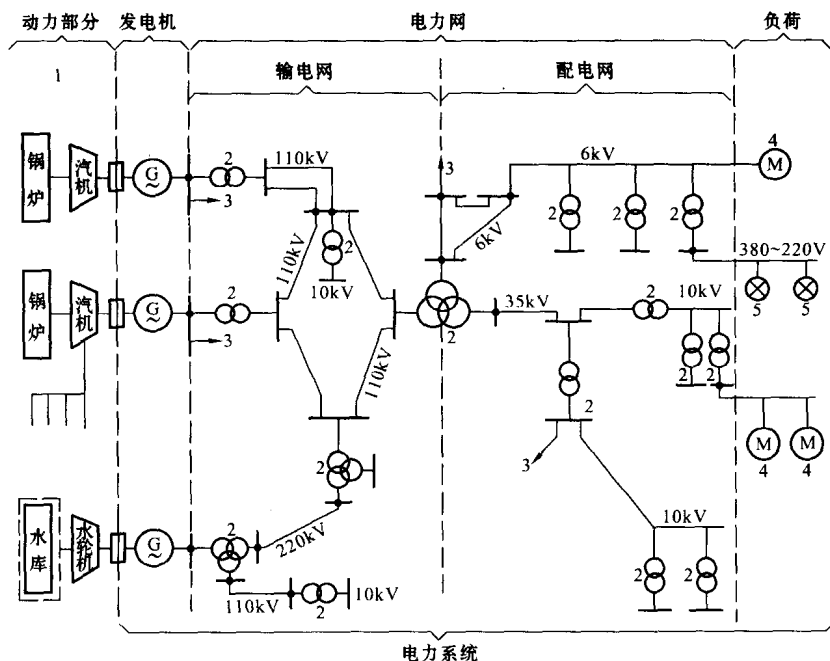


图 1-2 复杂电力系统示意图

1—动力部分；2—变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯

产生电能，升压变压器把发电机发出的低压电能变换为高压电能，输电线路输送电能，降压变压器把网络中的高压电能变换为低压电能，便于用户使用，用户使用电能。这样一个产生电能、输送和分配电能、使用电能所连接起来的有机整体称为电力系统。

确切地说，电力系统是指由发电机、变压器、电力线路、用户等在电气上相互连接所组成的有机整体。

如图 1-1 所示简单电力系统中，除去发电机、用户，剩下的部分，即电力线路和它两边连接的变压器，称为电力网，简称电网。

电力网是指由各种电压等级的输、配电线路以及由它们所联系起来的各类变电所所组成的网络。

由电源向电力负荷中心输送电能的线路，称为输电线路，包含输电线路的电力网称为输电网。而主要担负分配电能任务的线路称为配电线路，包含配电线路的电力网称为配电网。

电力网按其本身结构，又可分为开环电力网和闭环电力网。凡用户只能从单方向得到供电的电力网，称为开环电力网；凡用户可以从两个或两个以上方向得到供电的电力网，称为闭环电力网。

电力系统再加上它的动力部分可称为动力系统。换言之，动力系统是指“电力系统”与“动力部分”的总和。

所谓动力部分，则随电厂的性质不同而不同，主要有以下几种：

- (1) 火力发电厂的锅炉、汽轮机、供热网络等 (如图 1-1 中所示);
- (2) 水力发电厂的水库、水轮机;
- (3) 原子能发电厂的反应堆。

由以上分析可知, 电力网是电力系统的一个组成部分, 而电力系统又是动力系统的一个组成部分。

动力部分是产生电能的动力, 是电能产生的发源地。下面以火力发电厂凝汽式汽轮发电机组为例说明电能的生产过程。

如图 1-3 所示, 从图中看出, 原煤由输煤皮带运至原煤斗后又落入到磨粉机中, 磨成煤粉后再经过粗粉及细粉分离器进入煤粉仓里, 给粉机给出的煤粉与风机送来的暖风混合后送入炉膛燃烧, 使水冷壁管中的水加热蒸发为汽, 蒸汽经过汽包、过热器变为过热蒸汽, 然后通过主蒸汽管道被送入汽轮机。进入汽轮机的蒸汽膨胀做功, 喷打着汽轮机的叶片, 推动汽轮机的大轴开始转动。由于发电机与汽轮机同轴, 发电机的转子固定在大轴上随大轴一起转动, 定子固定不动, 在定子槽内放有按一定规律连接的 abc 三相定子绕组。在转子磁极上缠绕励磁绕组, 当给励磁绕组通上直流电后, 转子转动就形成了旋转磁场, 定子绕组在旋转的磁场中切割磁场, 于是便感应产生了电动势, 因定子回路与外电路形成闭合的三相电路, 于是有三相交流电流流通。发电机发出的电能, 再经升压后送入高压电力网。

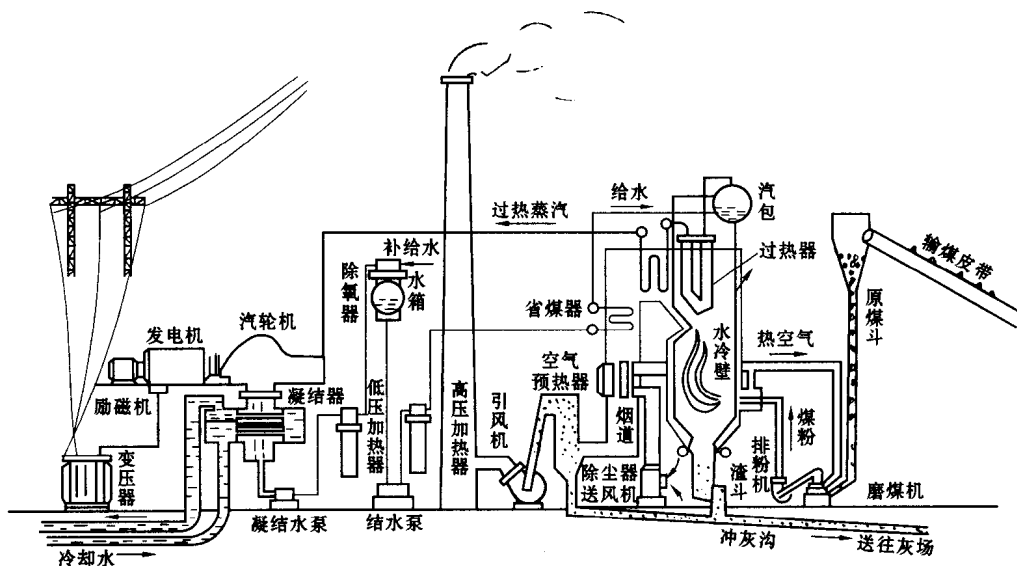


图 1-3 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

二、我国电力系统的发展

我国电力工业在解放前虽有 60 多年的历史, 但是, 规模很小, 技术落后, 发展得很缓慢。自 1882 年在上海建立了第一个发电厂开始, 直到 1948 年, 60 多年总共只留下总容量为 185 万 kW 的发电设备, 而年发电量只有 43 亿 kWh, 当时占世界第 23 位。

解放后，在党和政府的领导下，我国电力工业的发展列入了国民经济发展的总计划，第一个五年计划完成后（1957年），全国总装机容量和年发电量都有明显增长，以后逐年有增长，见表 1-1。

表 1-1

全国总装机容量和年发电量

年 份	总装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kWh)	年 份	总装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kWh)
1957	476	193	1991	15147	6774.94
⋮	⋮	⋮	1992	16653	7541.89
1980	6587	3006.20	1993	18291	8364.29
1981	6913	3092.69	1994	19990	9278.78
1982	7236	3276.78	1995	21722	10069.48
1983	7644	3514.39	1996	23654	10793.85
1984	8012	3769.91	1997	25424	11342.04
1985	8705	4106.90	1998	27729	11576.97
1986	9382	4495.71	1999	29877	12331.41
1987	10290	4973.21	2000	31932	13684.82
1988	11550	5450.65	2001	33861	14838.56
1989	12664	5846.80	2002	35026	16400.00
1990	13789	6213.18			

2002年全国电力工业生产快速增长，各项技术经济指标更加趋于合理。全国新投产发电装机 1165 万 kW，其中水电 115 万 kW，火电 1010 万 kW。到 2002 年底，全国发电装机容量突破 3.5 亿 kW 大关，全国共完成发电量 16400 亿 kWh，比上年同期增长 10.5%，其中水电 2710 亿 kWh，火电 13420 亿 kWh，核电 250 亿 kWh。目前我国电力工业居世界第二位。

随着电力工业的不断发展，我国电力系统的规模越来越大。发电厂的装机容量不断扩大，单机容量为 20、30、60 万 kW 的机组已成为我国电网的主力机型。目前，全国最大的火力发电厂是浙江北仑发电厂，装机容量为 360 万 kW，最大的水力发电厂是四川的二滩水电站，装机容量为 330 万 kW。再是，三峡水电站 26 台机组将从今年起至 2009 年陆续投产，总装机容量 1820 万 kW，今年年内将有 4 台 70 万 kW 的机组并网发电。从电网方面看，电压等级越来越高，输送距离越来越远。全国最高电压等级为 750kV 线路在西北电网正施工建设，500kV 线路早已投入运行，各省区的电网都相继连成，仅跨省连接的大电网有 6 个，它们是华北电网、东北电网、华东电网、华中电网、南方电网和西北电网。在不远的将来，将形成以三峡电站为中心的全国性联合电网。

20 世纪 80 年代以来，我国电力需求连续 20 年实现快速增长，年均增长速度接近 8%。根据我国的具体情况，预计我国全面实现小康社会的人均用电水平在 3000kWh 左右。在未来的 20 年，电力需求仍然需要保持 5.5%~6% 左右的快速增长。到 2010 年全社会用电将达到 25400 亿~26600 亿 kWh 左右，需要装机 5.5 亿~5.8 亿 kW；2020 年全社会用电将达到 39400 亿~43200 亿 kWh 左右，需要装机 8.2 亿~9.0 亿 kW。的确，电力与经济紧密相关，电力是保证经济发展的重要物质基础，经济发展是电力发展的内在动力。为满足全面建设小康社会的需要，电力发展的任务艰巨，责任重大。

第二节 电力系统运行的特点和要求

一、电能的优点

由于电能在各种能源中有特殊的地位,它有许多优点,如:

- (1) 电能可以很方便地转换成其他形式的能,如光能、热能、机械能、化学能等。
 - (2) 电能便于生产、输送、分配、使用和易于控制。
 - (3) 自然界中具有丰富的电力资源,如煤、石油、天然气、水力、原子能、太阳能等。
- 由于这些原因,所以电能是被人们广泛使用着的一种能源。

二、电力系统运行的特点

任何一个系统都有它自己独特的特征。电力系统的运行和其他工业系统比较起来,具有如下明显的特点:

1. 电能不能大量储存

电能的产生、输送、分配、消费、使用实际上是同时进行的,每时每刻系统中发电机发出的电能必须等于该时刻用户使用的电能,再加上传输这些电能时在电网中损耗的电能。这个产销平衡关系是电能生产的最大特点。

2. 过渡过程非常迅速

电能的传输近似于光的速度,以电磁波的形式传播,传播速度为 30 万 km/s,“快”是它的一个极大特点。如电能从一处输送至另一处所需要的时间仅千分之几秒;电力系统从一种运行状态过渡到另一种运行状态的过渡过程非常快。

3. 与国民经济各部门密切相关

现代工业、农业、国防、交通运输业等都广泛使用着电能,此外在人民日常生活中也广泛使用着各种电器,而且各部门的电气化程度愈来愈高。因此,电能供应的中断或不足,不仅直接影响各行业的生产,造成人民生活紊乱,而且在某些情况下甚至会造成政治上的损失或极其严重的社会性灾难。

由于这些特点的存在,对电力系统的运行提出了严格要求。

三、对电力系统运行的基本要求

评价电力系统的性能指标是安全可靠、电能质量和经济性能。根据电力系统运行的特点,电力系统应满足以下三点基本要求。

1. 保证可靠地持续供电

电力系统运行首先要满足可靠、不间断供电的要求。虽然保证可靠、不间断的供电是电力系统运行的首要任务,但并不是所有负荷都绝对不能停电,一般可按负荷对供电可靠性的要求将负荷分为三级,运行人员根据各种负荷的重要程度不同,区别对待。

一级负荷:属于重要负荷,如果对该负荷中断供电时,将会造成人身事故、设备损坏、产生大量废品,或长期不能恢复生产秩序,给国民经济带来巨大损失。

二级负荷:如果对该级负荷中断供电时,将会造成大量减产、工人窝工、机械停止运转、城市公用事业和人民生活受到影响等。

三级负荷：指不属于第一、二级负荷的其他负荷，短时停电不会带来严重后果。如工厂的不连续生产车间或辅助车间、小城镇、农村用电等。

通常对一级负荷要保证不间断供电。对二级负荷，如有可能也要保证不间断供电。当系统中出现供电不足时，三级负荷可以短时断电。当然，对负荷的这种分级不是一成不变的，它是随着国家的技术经济政策而转变的。

2. 保证良好的电能质量

我国已先后颁布了五个有关电能质量的国家标准，即是供电电压允许偏差、电力系统频率允许偏差、公用电网谐波、三相电压允许不平衡度及电压允许波动和闪变。这些国家标准的制定，无疑是保证了我国电力系统的电能质量。

电力系统的电压和频率正常是保证电能质量的两大基本指标，电压质量和频率质量一般以偏离额定值的大小来衡量。实际用电设备均按额定电压设计，若电压偏高或偏低都将影响用电设备运行的技术和经济指标，甚至不能正常工作。一般规定，电压偏移不应超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。频率的变化同样影响用电设备的正常工作，以电动机为例，频率降低引起转速下降，频率升高则转速上升。电力系统运行规定，频率偏移不超过 $\pm 0.2 \sim 0.5\text{Hz}$ 。

近些年来，随着冶金工业、化学工业及电气化铁路的发展，电力系统中的非线性负荷（如整流设备、电力机车、电解设备等）及冲击性负荷（如电弧炉、轧钢机等）使电网的非线性、非对称性和波动性日趋严重。由于大量非线性负荷接入系统，引起谐波比重增大，交流电波形达不到规定的标准，正弦交流电的波形质量一般以谐波畸变率衡量。所谓谐波畸变率是指周期性交流量中谐波含量（减去基波分量后所得的量）的方均根值与其基波分量的方均根值之比（用百分数表示）。谐波畸变率的允许值随电压等级的不同而不同，如110kV供电时为2%，35kV供电时为3%，10kV供电时为4%。

为使电力系统中的冲击性负荷对供电电压质量的影响控制在合理的范围内，按标准规定，电力系统公共供电点，由冲击性功率负荷产生的电压波动允许值：在10kV及以下为2.5%、35~110kV为2%、220kV及以上为1.6%。电压闪变 ΔU_{10} （等值10Hz电压闪变值）允许值：对照明要求较高的白炽灯负荷为0.4%、一般性照明负荷为0.6%。

三相电力系统中三相不对称的程度称为三相不平衡度。用电压或电流负序分量与正序分量的方均根值百分比表示。按标准规定，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%。

由此可知，衡量电能质量的指标是电压偏差、频率偏差、谐波畸变率、三相不平衡度及电压波动和闪变。如果不能满足这些指标要求，无论对用户还是对电力系统本身都会产生不良后果。因此，运行人员必须随时调节电力系统的电压和频率，并在一些地点实施相应的限制电压波动措施及谐波治理措施，以保证电力系统的电能质量。

3. 努力提高电力系统运行的经济性

电力系统运行的经济性主要反映在降低发电厂的能源消耗、厂用电率和电力网的电能损耗等指标上。

电能所消耗的能源在国民经济能源的总消耗中占的比重很大。要使电能在生产、输送和分配的过程中耗能小、效率高，最大限度地降低电能成本有着十分重要的意义。电能成本的

降低,不仅意味着能量资源的节省,还将影响到各用电部门成本的降低,对整个国民经济带来很大益处。而要实现经济运行,除了进行合理的规划设计外,还需对整个系统实施最佳的经济调度。

以上对电力系统的三条基本要求,前两条必须保证,在保证可靠性、电能质量的前提下力求经济。把以上几点归纳起来可知,保证对用户供电充足、优质,而又经济的电力,就是电力系统运行的基本任务。

第三节 电力系统的负荷

我们知道电力系统中发电厂所发出的电能除了一部分在传输和分配过程中损失掉以外,大多数供给用户使用。图 1-4 所示为一简单的电力系统,这里的用户包括:工业、农业、交通运输、国防及人民生活。通常将用户所使用的功率叫作系统负荷,也称综合负荷。电力系统负荷主要包括:异步电动机、电热器、整流设备、照明设备等。各种用户的用电规律往往是千差万别的,而且它们在一年四季中、一天 24h 内的用电情况随时都在变化。由于电能产品不能储存,生产与消费间依赖关系非常密切,所以在电力系统的运行管理中,都必须充分研究各种负荷的特性,否则无法保证电力系统的可靠供电和经济运行。

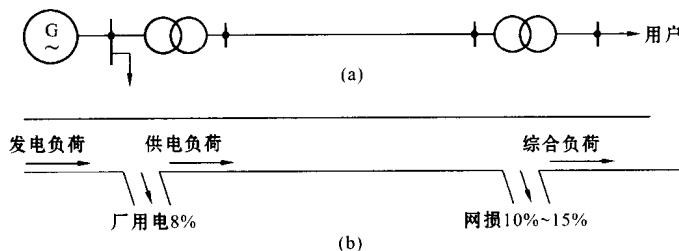


图 1-4 简单电力系统负荷流程图

(a) 简单电力系统; (b) 负荷流程图

通常把负荷随时间变化的情况画成的图,称为负荷曲线。负荷曲线是指某一时间段内负荷随时间变化的规律。绘制负荷曲线时,一般以横坐标表示时间,纵坐标表示负荷。负荷曲线的种类很多,如按时间段的长短分,可分为日负荷曲线、年负荷曲线等;按负荷种类分,可分为有功功率负荷曲线、无功功率负荷曲线;按计量地点分,又可分为用户的负荷曲线、变电所的负荷曲线、发电厂的负荷曲线等。

在电力系统运行中经常用到的负荷曲线有日负荷曲线、年最大负荷曲线、年持续负荷曲线。下面加以分析。

一、日有功负荷曲线

用户的有功功率日负荷曲线是反映一天 24h 内有功负荷的变化,可以根据运行中的记录绘出。为了简化计算和便于绘制,常把连续变化的负荷看成在测量的那一小段时间内不变,因此负荷曲线可以绘制成阶梯形。图 1-5 是电力系统典型综合有功负荷曲线的一个例子。从

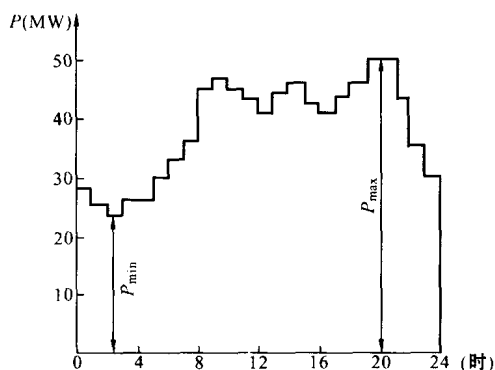


图 1-5 电力系统的典型日有功负荷曲线

负荷的百分数来表示。

图 1-6 (a) 为钢铁工业负荷曲线。钢铁工业为三班制连续生产，因而负荷曲线很平坦，最小负荷为最大负荷的 85%。

图 1-6 (b) 为食品工业负荷曲线。食品工业多为一班制生产，因而负荷曲线变化幅度较大，最小负荷为最大负荷的 13% ~ 14%。

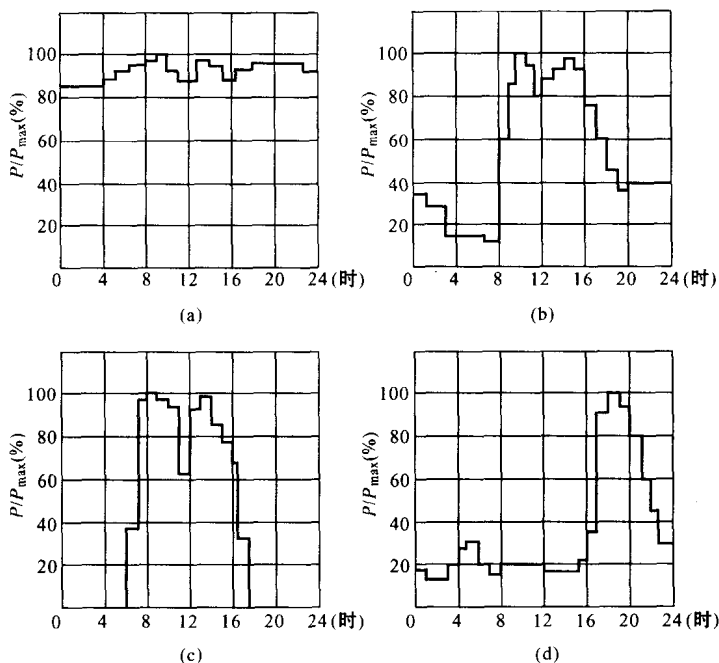


图 1-6 几种类型用户的典型日有功负荷曲线

- (a) 钢铁工业负荷曲线；(b) 食品工业负荷曲线；(c) 农副业加工负荷曲线；
(d) 市政生活负荷曲线

图上可以看出，晚上 24 时到次日凌晨 6 时负荷水平较低，把它叫负荷低谷；而 8 ~ 12 时、17 ~ 22 时用电较多，把它叫尖峰负荷；最高处称为最大负荷 $P_{\max}$ ，最低处称为最小负荷 $P_{\min}$ ；而把最小负荷以下的部分称为基本负荷，显然基本负荷是不随时间而变化的。

不同类型用户的负荷曲线是很不相同的，一般来说，负荷曲线的变化规律取决于负荷的性质，厂矿企业的生产情况、班次、地理位置、气候等因素。图 1-6 为几种类型用户的典型日有功负荷曲线，纵坐标用最大

图 1-6 (c) 为农副业加工负荷曲线。农副业加工每天往往只是持续一段时间, 每天仅用电 12h, 但在夏季出现农业排灌负荷时, 却有相当平坦的日负荷曲线。

图 1-6 (d) 为市政生活负荷曲线。市政生活用电的最大特点是具有明显的照明用电高峰(晚上)。

由于负荷曲线的纵坐标是有功功率, 横坐标是时间, 则该负荷曲线所包围的面积就是该用户一天内所使用的电能, 可表示为

$$W = \int_0^{24} P dt = \sum_{i=1}^{24} P_i \Delta t_i$$

式中有功功率 P 的单位为 kW, 时间 t 的单位为 h, 则电能 W 的单位为 kWh。

二、年最大负荷曲线

在电力系统的运行中, 不仅要知道一昼夜内负荷的变化规律, 而且要知道一年内负荷的变化规律, 如图 1-7 所示的年最大负荷曲线。它反映从年初到年终整个一年内的逐月(或逐日)综合最大负荷的变化规律。分析图 1-7 可看出:

(1) 夏季的最大负荷较小。这是由于夏季日长夜短, 照明负荷普遍减小的缘故, 但如果季节性负荷的比重较大, 也可能使夏季的最大负荷反而超过冬季。

(2) 年终的负荷较大。这是由于各工矿企业为超额完成年度计划而增加生产, 以及新建扩建厂矿投入生产的结果。

(3) 参照年最大负荷曲线, 可以用负荷较小的时段来安排发电机组的检修。如图 1-7 中 a 是系统机组检修的时间。

(4) 年最大负荷曲线可以用来决定整个系统的装机容量, 以便有计划地扩建发电机组或新建发电厂, 如图 1-7 中 b 是系统扩建或新建的机组容量。

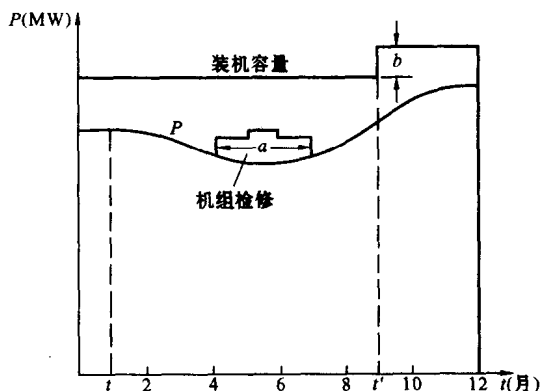


图 1-7 年最大负荷曲线

三、年持续负荷曲线

年持续负荷曲线是根据全年的负荷变化按照其大小及在一年中累计的持续运行时间排列组成的, 如图 1-8 所示。曲线中的 A1 点反映了在一年内负荷值超过 P_1 的累计持续时间为 t_1 h。A2 点反映了在一年内负荷值超过 P_2 的累计持续时间为 t_2 h。于是可根据年持续负荷曲线计算出一年内负荷所消耗的电能 W 。从图 1-8 可看出, 它即是年持续负荷曲线所包围的面积, 表示为

$$W = \int_0^{8760} P dt$$

如果把用户全年所消耗的电能与一年内的最大负荷之比所得到的时间, 称为年最大负荷利用小时数, 以 T_{max} 表示, 则有