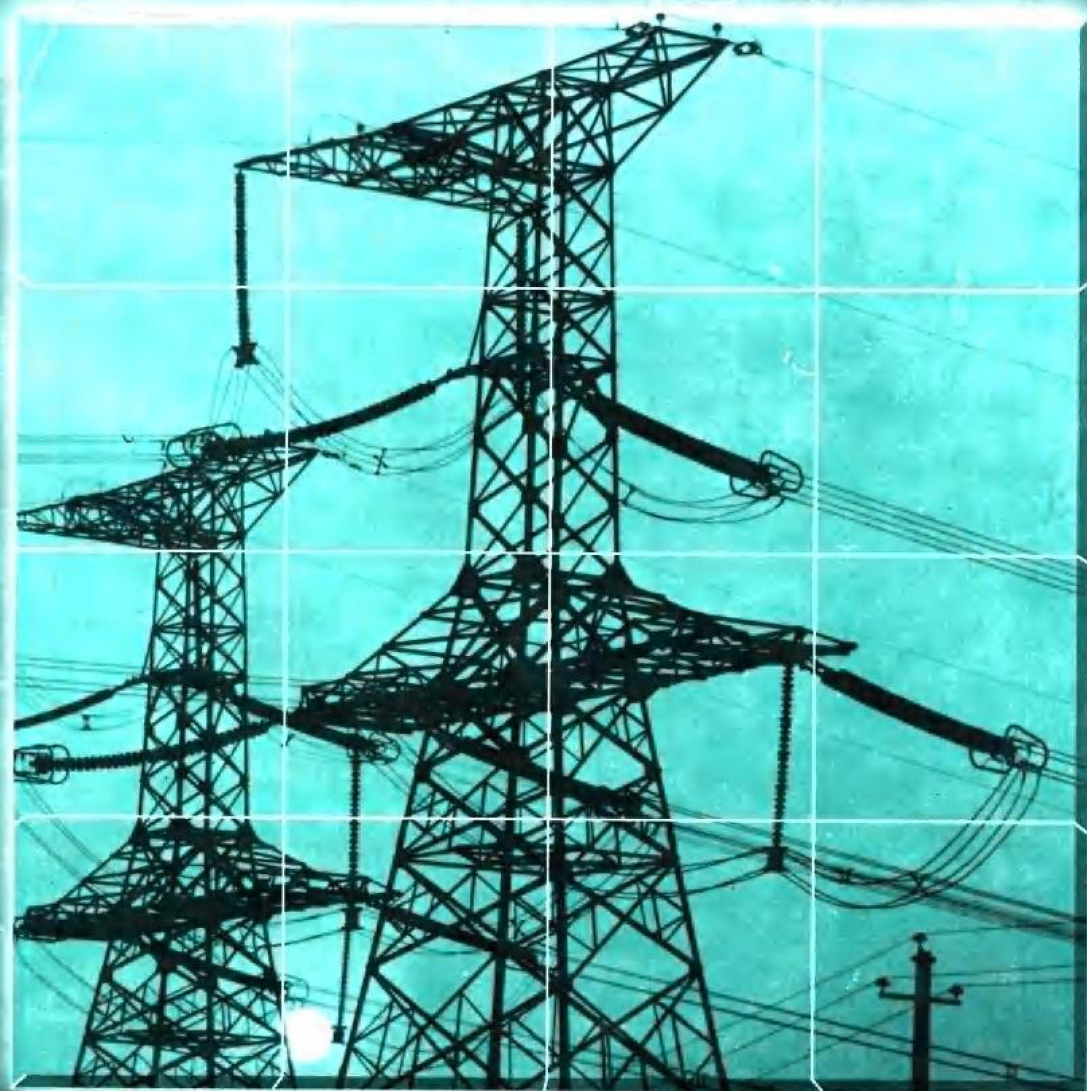


电力工程基础

主编 王锡凡



西安交通大学出版社

电力工程基础

王锡凡 主编

王锡凡 李建华 张伏生

王秀丽 王安定 盛寿麟

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书全面阐述电力工业的基础知识,包括:电力系统的构成,电力系统的稳态运行及故障情况分析计算,电力设备及其结构方式和选择的原则,电力系统的继电保护和过电压保护,电力系统的数据采集、控制系统以及远距离输电等。本书力求使读者能基本掌握和运用这些理论和方法,在各章均附有数字例题、思考题和习题。书中还尽力反映电力工业的新技术和发展趋势,并对于本书难以容纳的专门问题给读者指出了有关的参考文献,以利进一步深入学习。

本书可作为高等学校电气工程学院学生的教材,并可供电力工业、电力设备制造业、电力电子业的有关科研、设计与运行、制造人员参考,也可作为相关部门的培训教材。

(陕)新登字 007 号

电力工程基础

主 编 王锡凡

责任编辑 王晓岚

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)3268316)

陕西省轻工印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:551 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—2000

ISBN7-5605-0998-3/TM·42 定价:18.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)3268357,3267874

前 言

近年来,我国电力工业得到了持续迅速的发展,发电机的装机容量已跃居世界第二位。电力系统结构的日趋复杂,对电力规划设计、运行管理等各方面提出了更高的要求。培养更多掌握现代电力系统特点的人才和提高现有电力工业人员素质,是我们高等电力教育工作者面临的迫切任务。

电力工业的发展也带动了电力设备制造工业、电力电子工业以及通讯自动工程各行业的发展。为了更紧密地配合电力工业建设和改造,提高其运行水平,这些行业的研究、设计、制造人员也需要全面深入地掌握电力系统的特性。

以往,我国高等教育学习前苏联经验,专业划分较细。在电气工程系中设有电力系统自动化、高电压技术、电机制造、电器制造、工业企业自动化、绝缘技术、电磁测量等专业。这些专业的学生都要学一些电力工程方面的课程,但各有偏重,内容不尽相同。

目前,为了适应我国现代化建设在社会主义市场经济条件下对人才的需要,教学改革正朝着拓宽专业面的方向努力。在这种形势下,我校设立了电气学院学生必修课程——电力工程基础。本书就是为该课程编写的教材。

全书共分9章。第1章概述我国电力工业的发展概况,电力系统的构成及特点,简述了各类发电厂的工作原理及运行特性,并对电力负荷进行了分析。第2章主要介绍电力系统稳态运行的分析方法,包括电力网的等值电路、潮流计算方法,对电力网输电的物理过程进行了深入讨论。第3章讲述电力系统故障情况的分析方法,研究了突然短路的暂态过程及短路电流的计算方法。第4章介绍发电厂及变电站的主要电气设备,主接线方式及其配电装置的布置方式。第5章阐述了远距离输电的有关问题及提高输送能力的方法,同时还介绍了直流输电以及交流柔性输电(FACTS)的原理及应用。第6章专门讨论电力系统的继电保护问题,着重分析了电力网及元件的继电保护原理。第7章对电力系统过电压及接地问题进行了专门介绍,阐述了电力系统过电压保护的措施。第8章讨论电力系统的数据采集和监控系统,并对变电站自动化问题进行了分析。第9章讨论了电力网的接线方式和电气设备的选择方法,并介绍了工程设计中技术经济分析的原理。

电力系统所涉及的知识领域十分广泛,本书力求较全面地反映这些内容,并使读者能基本掌握和运用这些知识。因此,各章均附有数字例题、思考题和习题。对于书中难以容纳的专门问题,则给读者指出有关参考文献,以利进一步深入学习。

电力技术发展很快,信息及计算机技术以及电力电子技术的引入使电力工业水平不断提高。因此,本书在编写过程中也注意到尽可能反映这些新技术和发展趋势,从而为读者日后的开发及研究工作打好基础。

本书编写由以下人员完成:王锡凡教授(第1章、第9章)、李建华副教授(第2章、第3章)、张伏生副教授(第4章、第7章)、王秀丽副教授(第5章)、王安定副教授(第6章)、盛寿麟教授(第8章)。在编写过程中得到西安交通大学电气学院的指导和帮助,本书初稿经夏道止教授、李光琦教授、施围教授、李朝阳教授、张保会教授的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

作者

1997.12.

目 录

前言

第 1 章 绪论

- 1.1 电力工业的特点 (1)
- 1.2 我国的电力工业 (4)
- 1.3 电力系统的负荷 (6)
- 1.4 各类发电厂和生产过程 (9)
- 1.5 电力线路的结构 (14)

小结

思考题及习题

第 2 章 电力系统稳态运行分析与计算

- 2.1 概述 (19)
- 2.2 三相输电线路 (19)
- 2.3 电力变压器 (28)
- 2.4 多电压级电力系统 (33)
- 2.5 简单电力系统的运行分析 (35)
- 2.6 复杂电力系统的潮流计算 (42)
- 2.7 无功功率平衡及无功功率与电压的关系 (52)
- 2.8 电力系统的电压调整 (55)
- 2.9 电力系统的有功功率和频率调整 (62)

小结

思考题及习题

第 3 章 电力系统的短路电流计算

- 3.1 概述 (69)
- 3.2 无限大功率电源供电的三相短路电流分析 (70)
- 3.3 同步发电机突然三相短路的物理过程及短路电流的分析 (73)
- 3.4 电力系统三相短路的实用计算 (82)
- 3.5 电力系统不对称短路的分析和计算 (88)
- 3.6 计算机计算复杂系统短路电流原理及框图 (101)

小结

思考题及习题

第 4 章 发电厂和变电站的主设备及主系统

- 4.1 概述 (109)
- 4.2 高压断路器 (109)
- 4.3 隔离开关 (119)
- 4.4 熔断器 (120)
- 4.5 低压开关 (121)
- 4.6 电流互感器 (122)
- 4.7 电压互感器 (128)
- 4.8 电气主接线 (132)
- 4.9 限制短路电流的措施 (141)
- 4.10 配电装置 (144)

小结

思考题及习题

第 5 章 远距离大容量输电

- 5.1 概述 (155)

5.2	远距离输电线路的功率传输特性	(156)
5.3	电力系统静态稳定	(160)
5.4	电力系统暂态稳定	(165)
5.5	直流输电	(176)
5.6	灵活交流输电系统	(185)
	小结	
	思考题及习题	
第6章	继电保护	
6.1	概述	(194)
6.2	电网的电流保护	(199)
6.3	电网的距离保护	(210)
6.4	电网的高频保护	(225)
6.5	纵联差动保护	(229)
6.6	大型电动机及并联电容器组的保护	(232)
	小结	
	思考题及习题	
第7章	电力系统过电压及接地	
7.1	概述	(236)
7.2	雷电过电压及防雷保护	(236)
7.3	输电线路的防雷	(244)
7.4	发电厂、变电站的防雷	(246)
7.5	电力系统的工频电压升高	(249)
7.6	电力系统的操作过电压	(253)
7.7	谐振过电压	(261)
7.8	电力系统接地	(265)
	小结	
	思考题及习题	
第8章	电力系统的监控系统	
8.1	概述	(276)
8.2	数据传输	(279)
8.3	监控系统厂站端	(294)
8.4	监控系统调度端	(304)
	小结	
	思考题及习题	
第9章	电网设计及电气设备选择	
9.1	概述	(321)
9.2	电网设计	(321)
9.3	导线和电缆的选择	(327)
9.4	变压器的选择	(332)
9.5	电气设备选择的基本原则	(335)
9.6	电气设备的选择	(339)
9.7	经济评价方法	(344)
	小结	
	思考题及习题	
	参考文献	

5.2	远距离输电线路的功率传输特性	(156)
5.3	电力系统静态稳定	(160)
5.4	电力系统暂态稳定	(165)
5.5	直流输电	(176)
5.6	灵活交流输电系统	(185)
	小结	
	思考题及习题	
第6章	继电保护	
6.1	概述	(194)
6.2	电网的电流保护	(199)
6.3	电网的距离保护	(210)
6.4	电网的高频保护	(225)
6.5	纵联差动保护	(229)
6.6	大型电动机及并联电容器组的保护	(232)
	小结	
	思考题及习题	
第7章	电力系统过电压及接地	
7.1	概述	(236)
7.2	雷电过电压及防雷保护	(236)
7.3	输电线路的防雷	(244)
7.4	发电厂、变电站的防雷	(246)
7.5	电力系统的工频电压升高	(249)
7.6	电力系统的操作过电压	(253)
7.7	谐振过电压	(261)
7.8	电力系统接地	(265)
	小结	
	思考题及习题	
第8章	电力系统的监控系统	
8.1	概述	(276)
8.2	数据传输	(279)
8.3	监控系统厂站端	(294)
8.4	监控系统调度端	(304)
	小结	
	思考题及习题	
第9章	电网设计及电气设备选择	
9.1	概述	(321)
9.2	电网设计	(321)
9.3	导线和电缆的选择	(327)
9.4	变压器的选择	(332)
9.5	电气设备选择的基本原则	(335)
9.6	电气设备的选择	(339)
9.7	经济评价方法	(344)
	小结	
	思考题及习题	
	参考文献	

第 1 章 绪论

电力工业是国民经济的一个重要组成部分,其使命包括发电、输电及向用户配电(售电)的全部过程。完成这些任务的实体是电力系统。电力系统相应地由发电厂、输电系统、配电系统及电力用户组成。本章主要阐述电力工业的特点及电力系统的构成。

1.1 电力工业的特点及构成

电力工业是一个重要的基础工业。由于电能易于控制且便于转变成其它形式的能量(光能、热能、机械能、化学能等),因此,它在国民经济各部门及日常生活中都得到了广泛的应用。很难想象现代生产和现代文明能离开电能的应用。因为电力工业与各产业部门及人民生活有着密切的关系,它的发展对整个国民经济都有直接的影响。

电力工业的另一特点在于其产品——电能——难以储存,因此其生产、传输和消费是一个连续的过程,即在电力系统中生产的电能时时刻刻都应与消耗的电能相平衡。

此外,由于电能是以电磁波的速度传播,因此电力系统中任何设备的投入或切除都会立刻影响其它设备的运行状态。

最后,电力系统是投资密集、技术密集的产业,同时也是消耗一次能源最大的产业。根据 1994 年的统计资料,我国电力工业的固定资产已达 4 120 亿元。在美国,电力工业也是固定资产最大的行业。

如前所述,电力系统是电力工业的物理实体,由发电厂、输电系统、配电系统及负荷四部分组成,图 1-1 表示了一个简单电力系统的基本结构。

发电厂把一次能源转化为电能。这里的一次能源包括矿物燃料(煤、石油、天然气等),核燃料(铀、钍等)以及可以再生的能源,如水能、太阳能、风能、海洋能等。目前发电厂的规模已相当可观,我国在 1995 年已有 40 个发电厂的装机容量超过 100 万 kW。关于各种类型的发电厂的介绍详见 1.3 节。

发电厂的位置一般远离用电负荷中心,距离可达几百公里、甚至上千公里。这就需要建设高压输电线路以完成远距离大容量的输电任务。目前世界上已投入运行的输电线路电压在 110kV 到 750kV 之间,1 000kV 以上的输电系统尚处于试验研究阶段。

配电系统将电能分配给用户。一般分为高压配电系统和低压配电系统两级,有些大城市已采用 110kV 和 220kV 配电系统。低压配电网的电压是 380/220V 的三相四线制。我国采用的电压等级和相应的输电范围如表 1-1 所示。

负荷是用户或用电设备的总称,因此包括电灯、电动机、电热装置等等。在电力系统的术语中,负荷也经常用来表示用户的用电功率。

以上电力系统的结构显示了电能生产、输送、分配与应用各环节及其相互关系,称为一次系统。此外,为了保证电力系统正常运行还必须设有相应的测量、监视、控制以及保护系统,这些统称为二次系统。只有当一次系统和二次系统合理规划设计,可靠运行维护时,才能保证电

力系统在技术上达到高指标,经济上达到高效益。

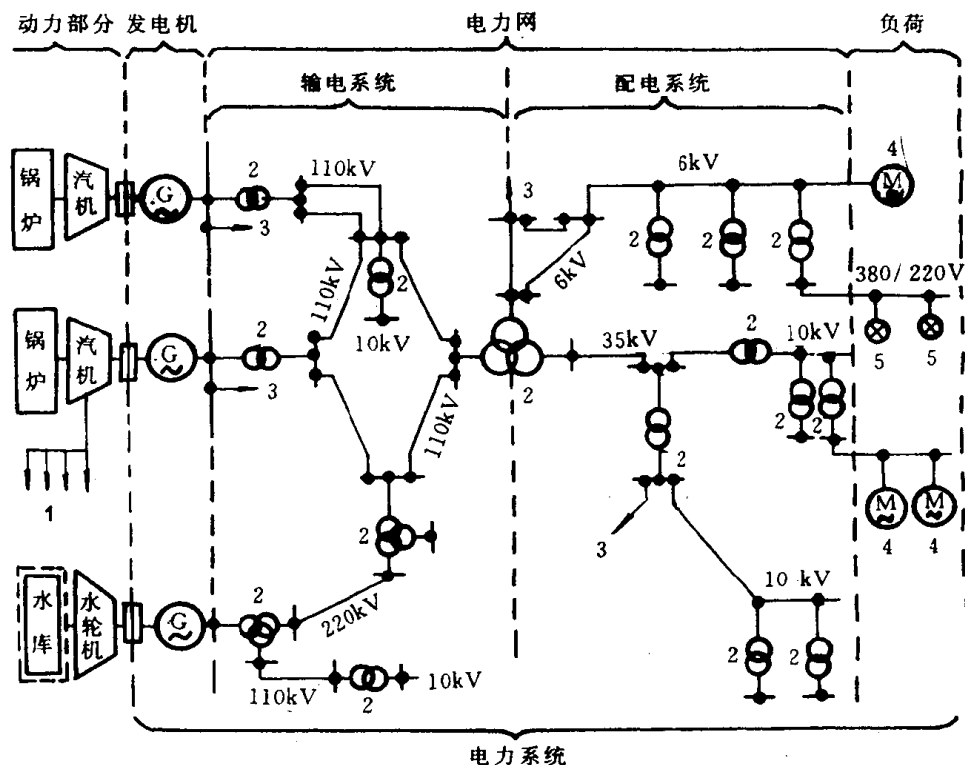


图 1-1 电力系统的构成

1—热力网;2—变压器;3—负荷;4—电动机;5—电灯

表 1-1 我国的电压等级及输电范围

电压等级 /kV	输送容量 /MW	输送距离 /km
3	0.1~1	1~3
6	0.1~1.2	4~15
10	0.2~2	6~20
35	2~15	20~50
60	3.5~30	30~100
110	10~50	50~150
220	100~500	100~300
330	200~800	200~600
500	1 000~1 500	150~850
750	2 000~2 500	500 以上

如何衡量电力系统的技术水平和经济效益呢?这涉及到对电力系统规划设计和运行维护的基本要求,概括起来有以下几点。

1. 对用户连续供电

这一要求也称为可靠性要求。中断供电将造成生产停顿、生活混乱,甚至可能危及人身和设备安全,给国民经济造成很大损失。因此,电力部门的首要任务就是满足用户对连续供电的要求。

为此,电力系统应不断建设,使系统有足够的发、输、配电设备,以满足不断增长的用电需要。在这个意义上,电力工业作为一个基础工业应该优先发展。

即使有足够的发、输、配电容量,由于规划设计的失误、种种设备缺陷、运行过失以及天灾等,也可能导致对用户供电的中断。因此,必须精心规划设计、认真维修设备、正确操作运行,才能减少事故,提高供电的可靠性。

我国目前还没有制定出具体的可靠性指标。北美(美国和加拿大)规定供电可靠性指标为:对用户而言,10年间的停电不应多于一。显然,我国目前还达不到这样的水平。有人曾对我国提出每年停电不多于两天的指标。随着我国电力工业逐步走上法制管理轨道,可靠性指标也应尽早制定。

2. 保证电能质量

电能质量指标包括频率、电压及波形。用电设备应在额定电压下运行以保证合理的技术经济指标,电压过高、过低都会影响用电设备的正常工作。一般规定电压偏移不应超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。偏移过大可能造成设备损坏,甚至引起人身事故。

交流电能的频率偏离 50Hz 也会影响设备的技术经济性能。例如,频率降低会引起电动机转速下降,频率升高则转速也升高。这些对转速敏感的水泵、风机的正常工作有很大影响。对转速有严格要求的部门,如纺织工业,频率波动将直接影响其产品质量。电力系统对频率的偏移规定在 $\pm 0.2\text{Hz}$ 以内。

电能质量的另一指标是交流电的波形。标准交流电的波形应是正弦波。但是由于电力系统中有谐波源(如各种整流设备)的存在,使电压或电流中都含有一些谐波分量。这些谐波分量不仅使系统的效率下降,也会对计算机、自动化设备等产生较大干扰。因此,把谐波分量降低到容许的范围内是保证电能质量的一项重要任务。我国对公用电网谐波电压的限值如表 1-2 所示。

表 1-2 公用电网谐波电压限值

电网电压/kV	电压总谐波畸变率	各次谐波电压含有率	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

表中电压总谐波畸变率的定义为

$$\text{电压总谐波畸变率} = \frac{U_H}{U_1} \times 100\%$$

其中: U_1 为基波电压的方均根值; U_H 为谐波电压含量,即

$$U_H = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (U_n)^2}$$

式中, U_n 为第 n 次谐波电的方均根值。

3. 经济性

节约能源是当今世界上普遍关注的问题。电能生产规模很大,消耗大量一次能源。因此降低生产每千瓦时电能所消耗的能源和降低各环节的损耗都有重要意义。为此,应尽量采用高效节能的发电设备,合理地发展电力网以降低电能输配过程中的损耗。此外,合理分配各发电厂之间的电力负荷,充分发挥经济性能高的发电厂的作用,并注意水电与火电之间的调配也都是保证电力系统经济运行的重要措施。

4. 防止环境污染

随着工业发展,人类生存环境正在遭受破坏。环境保护已成为当前全球性战略课题。燃煤的火电厂占我国总发电装机容量的 70%,如不采取措施,燃烧排到大气中的硫和氮的氧化物都会成为严重的污染源。为此,除应在火电厂采用除尘器、脱硫塔之外,在规划建造火电厂时还应注意厂址的选择、烟囱的高度以及燃料的含硫量等。

1.2 我国的电力工业

我国电力工业的历史可以追溯到 1882 年,那年在上海建立了第一个发电厂。到 1949 年全国的发电设备总容量仅达到 185 万 kW,年发电量约 43 亿 kWh。新中国建立后电力工业才得到较快的发展。

到 1995 年底,全国发电设备容量已达 2.1 亿 kW,发电量达 10 000 亿 kWh,跃居世界第二位。我国自 1980 年以来的装机容量及发电量的增长情况可参看图 1-2 及图 1-3。图中阴影部分表示火电,其余为水电。

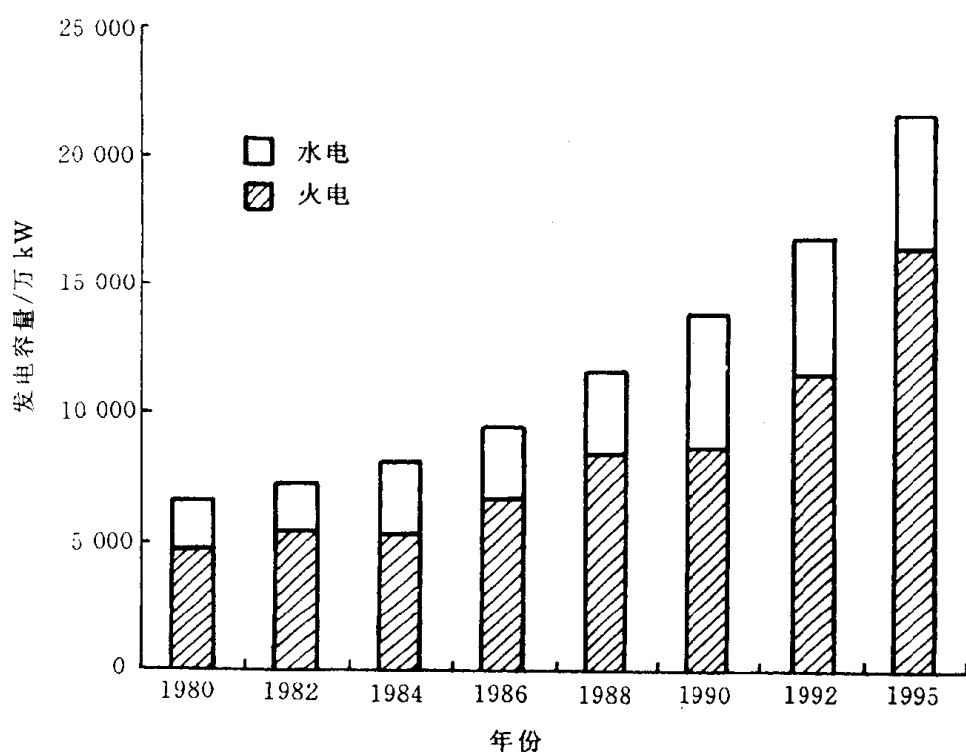


图 1-2 我国发电设备容量增长情况

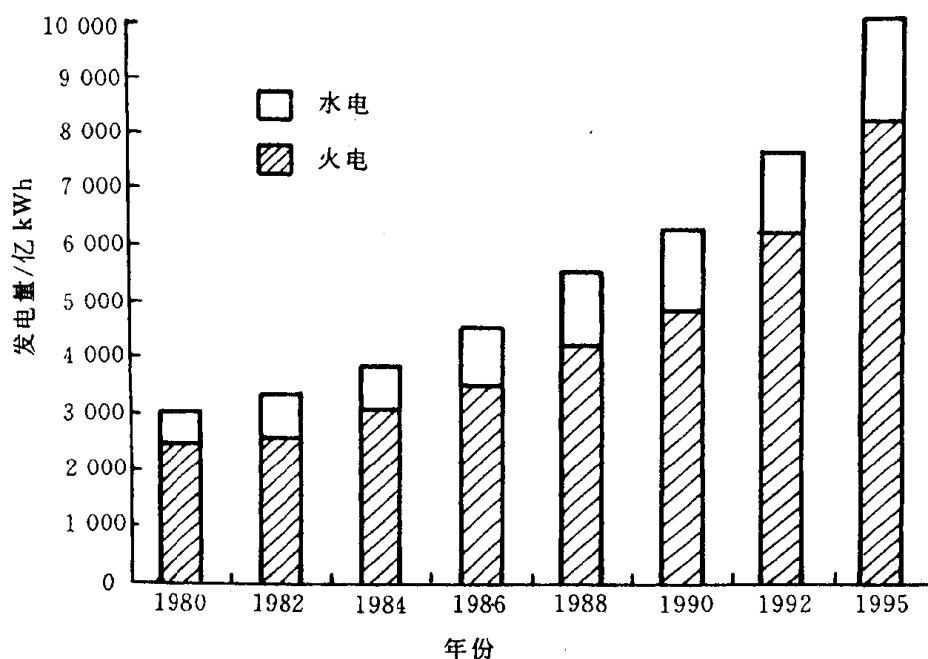


图 1-3 我国发电量的增长情况

我国目前已形成 1 000 万 kW 以上的电力系统有 8 个,其中华北、东北、华东及华中电力系统发电设备容量都已超过 2 000 万 kW。1994 年底各电力系统的装机容量如表 1-3 所示。

表 1-3 我国各电力系统的装机容量

电力系统	总装机容量/万 kW	水电装机容量/万 kW	火电装机容量/万 kW	包括省(市)
华东	3 615.78	308.05	3 307.73	沪,苏,浙,皖
华北	2 986.01	126.61	2 859.40	京,津,冀,晋,蒙
华中	2 950.18	1 192.97	1 757.21	鄂,湘,豫,赣
东北	2 516.64	440.17	2 076.47	辽,吉,黑
华南	2 409.60	804.52	1 605.08	粤,桂,琼
西南	2 017.77	1 050.93	966.84	川,云,贵
西北	1 221.88	514.50	707.38	陕,甘,宁,青
山东	1 205.63	7.58	1 198.05	鲁
福建	538.07	336.21	201.86	闽
新疆	286.51	67.59	218.92	新
西藏	17.66	12.95	4.71	藏
总计	19 765.73	4 862.08	14 903.65	

在发电设备容量增长的同时,我国输电线路也有较大的发展。1974 年建成了我国第一条 330kV 的输电线路,从甘肃刘家峡水电厂到陕西关中地区。1981 年建成了第一条 500kV 输电线路,由河南姚孟火电厂到武汉。1988 年从葛洲坝水电厂到上海南桥变电站的 ± 500 kV 直流输电线路投入运行,全长达 1 080km。关于我国的输电线路发展情况可参看表 1-4。

表 1-4 我国高压架空输电线路的发展情况/km

年 份	220kV	330kV	500kV
1974	13 426	534	—
1977	19 319	534	—
1980	28 464	866	—
1983	36 824	1 085	1 594
1986	49 419	1 695	3 269
1989	66 496	3 097	7 114
1992	82 070	4 253	8 660
1994	87 399	4 797	11 172

我国的煤炭和水能资源比较丰富。就蕴藏量而言,煤炭居世界第三位,仅次于前苏联及美国;水能资源则居世界第一位。我国的煤炭和水能资源分布很不均匀,如表 1-5 所示。煤炭资源主要集中在华北和西北地区;水能资源则主要集中在西南地区。这就给我国电力工业发展带来一定困难,大容量超高压远距离输电线路成为电力系统发展的关键。

表 1-5 我国的煤炭及水能资源分布

地 区	煤炭资源(标准煤)/亿 t	水能资源/万 kW
东北	140	1 199
华北	3 050	69
西北	1 035	4 194
中南	180	6 743
西南	530	23 234
华东	310	1 790

虽然我国电力工业发展较快,但按人口平均仍远落后于发达国家。加速发展电力工业依然是发展我国国民经济的重要前提。根据电力部规划,到 2000 年我国发电装机容量应达到 3 亿 kW,发电量应达到 14 000kWh。到 2010 年装机容量应达到 5.5~6 亿 kW。

世界最大的水电站——三峡水电站已于 1995 年正式动工,其装机容量为 1 820 万 kW。预计在 2010 年前后竣工时将形成以三峡水电站为中心的联合电力系统,并将在此基础上逐步形成全国电力系统。

1.3 电力系统的负荷

1.3.1 电力负荷的组成

电力系统负荷是由国民经济各部门的用电负荷组成的。我国各部门用电量的比重(1994 年统计资料)如图 1-4 所示。

电力系统的负荷包括各式各样的用电设备,如异步电动机、同步电动机、电热电炉、整流设备、照明设备等。在不同行业中这些用电设备所占比重也不相同。表 1-6 中表示了几种行业

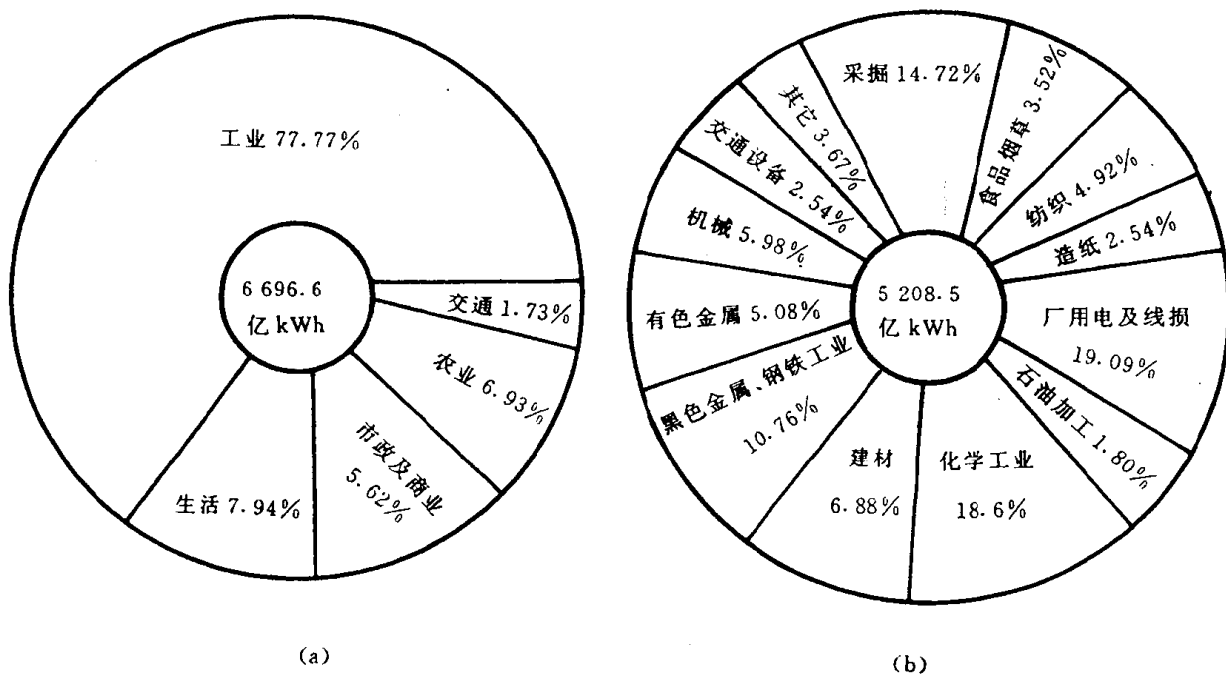


图 1-4 我国各部门各行业用电比重(1991 年)

(a)国民经济各部门用电比重；(b)工业部门内各行业的用电比重

的典型数据。表中的比重是按设备的容量(额定功率)计算的。由于目前照明设备及办公自动化设备所占比重不大,故未统计在表内。但是,这一部分负荷有迅速增大的趋势。

表 1-6 几种工业部门用电设备比重

类 型 比重(%)	综合性中小 工 业	棉纺工业	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
异步电动机	79.1	99.8	56.0	13.0	82.5	20.0
同步电动机	3.2		44.0		1.3	10.0
电热电炉	17.7	0.2			15.0	70.0
整流设备				87.0	1.2	

①比重按功率计；

②照明设备的比重很小未统计在内

1.3.2 电力负荷的特性

一般交流用电设备所消耗的功率包括有功功率及无功功率,其大小与其电源的电压及频率有关。这种关系称为负荷特性,它对电力系统的运行有重要影响。

图 1-5 表示某地区负荷的特性。这种特性是当系统频率及电压缓慢变化时,地区负荷的有功功率及无功功率的变化情况,因此又叫负荷的静特性。通常负荷的静特性可以用电压和频率的多项式或指数函数来表示。

负荷特性的多项式表示如下:

$$P_L + jQ_L = P_{L0} [a + b(U/U_0) + c(U/U_0)^2] + jQ_{L0} [d + e(U/U_0) + f(U/U_0)^2]$$

其中: P_{L0}, Q_{L0} 为电压 U_0 时的负荷有功功率及无功功率; P_L, Q_L 为电压 U 时的负荷有功功率及无功功率; a, b, c, d, e, f 为常数,由试验确定。

负荷特性的指数表示形式为: $P_L + jQ_L = P_{L0}(U/U_0)^{N_{pv}} + jQ_{L0}(U/U_0)^{N_{qv}}$

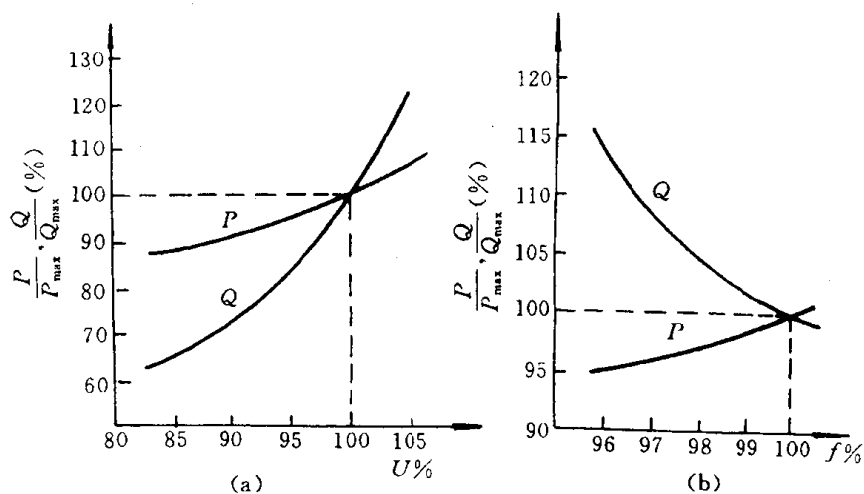


图 1-5 某地区负荷的电压特性及频率特性
(a)静态电压特性; (b)静态频率特性

式中, N_{PV}, N_{QV} 为常数, 由试验确定。

究竟采用多项式表示还是指数形式表示, 要根据系统的具体情况确定。

1.3.3 电力负荷曲线

电力系统各用户的负荷功率总是在不断变化, 影响负荷变化的因素很多。主要有以下几点:

①作息时间的影 响: 一般深夜是全天负荷的最低点, 中午体息也往往出现负荷下降的情况。

②生产工艺的影响: 冶炼工业和化学工业等属于连续性生产行业, 电力负荷比较稳定。三班制的机械加工工业除交接班时负荷较小以外负荷也很平稳。一班制工业的电力负荷主要集中在白天, 全天负荷波动较大。

③气候影响: 阴雨天气使白天照明负荷增加。夏季温度升高时, 空调设备的负荷上升。随着空调设备的逐渐普及, 气温将成为电力负荷的一个敏感因素。

④季节影响: 由于季节性的负荷、用户设备的扩充以及负荷的年增长等, 负荷在一年中呈现一些规律性的变化。目前我国大部分地区电力负荷在夏季较低, 但个别南方地区由于夏季气温高, 空调负荷大, 再加上防汛及灌溉, 夏季负荷可能大于冬季负荷。

电力负荷随时间变化的关系一般用负荷曲线来描述。根据持续的时间, 负荷曲线可以分为日负荷曲线、周负荷曲线和年负荷曲线; 根据所涉及的范围, 负荷曲线可分为个别用户的负荷曲线、变电站负荷曲线、电力系统的负荷曲线等。这里所指的电力负荷一般指有功功率, 但在有些情况下也可能指无功功率。

在电力系统规划和运行中, 应用最多的是电力系统的日负荷曲线(见图 1-6), 与其相关的特性指标有两个, 现简述如下。

(1)日负荷率 为日平均负荷与日最大负荷之比, 通常用 γ 来表示:

$$\gamma = P_{d\text{av}}/P_{d\text{max}}$$

式中: $P_{d\text{av}}$ 为日平均负荷; $P_{d\text{max}}$ 为日最大负荷。如图 1-6 所示。

(2)日最小负荷率 为日最小负荷与日最大负荷之比, 通常用 β 来表示:

$$\beta = P_{d \min} / P_{d \max}$$

式中： $P_{d \min}$ 为日最小负荷。

γ 和 β 的数值与用户的构成情况、生产班次及调整负荷的措施有关。很明显 $\beta \leq \gamma \leq 1$ 。在图 1-6 中，小于日最小负荷 $P_{d \min}$ 的部分称为基荷，大于日平均负荷 $P_{d \text{av}}$ 的部分称为峰荷，两者之间的部分称为腰荷。

日负荷曲线主要用于研究电力系统日运行方式，如经济运行、调峰措施、安全分析、调压和无功补偿等。有时为了安排开停机计划、接线方式等还需要未来一周的负荷曲线。

另一类常用的负荷曲线是年最大负荷曲线。该曲线由 12 个点组成，分别代表 12 个月的最大负荷功率，如图 1-7 所示。在农业排灌等季节性负荷比重较小的系统中，如不计因新用户接入而引起的负荷随着时间的增长(图中直线 2)，它大体上像一条余弦曲线(图中曲线 1)。图中曲线 3 是计及新用户接入后的年最大负荷曲线。

在进行电力系统规划和研究系统运行的经济效益时，还要用到持续负荷曲线。这是一种派生的负荷曲线。它不是按时间顺序，而是按某一研究周期内电力负荷递减的顺序绘制成的负荷曲线。根据研究周期，有日持续负荷曲线、月持续负荷曲线、年持续负荷曲线等。图 1-8 表示了日负荷曲线与相应的日持续负荷曲线的关系。图中

$$t'_i = \sum_j t_{ij}$$

式中： t_{ij} 为负荷为 P_i 时，时序负荷曲线在 j 段的持续时间； t'_i 为负荷为 P_i 时，日持续负荷曲线的持续时间。

1.4 各类发电厂的生产过程

现代电力系统广泛采用的有凝汽式电厂、热电厂、水电厂、核电厂及抽水蓄能电厂等。正在研究和试验的有太阳能、风力、地热、潮汐等新型能源发电厂。

目前，我国除个别电力系统的水电比重达到或超过 50% 以外，很多系统以

火电厂为主，用水电厂配合满足系统用电需要。为了合理地运用这些发电厂，应对各类发电厂

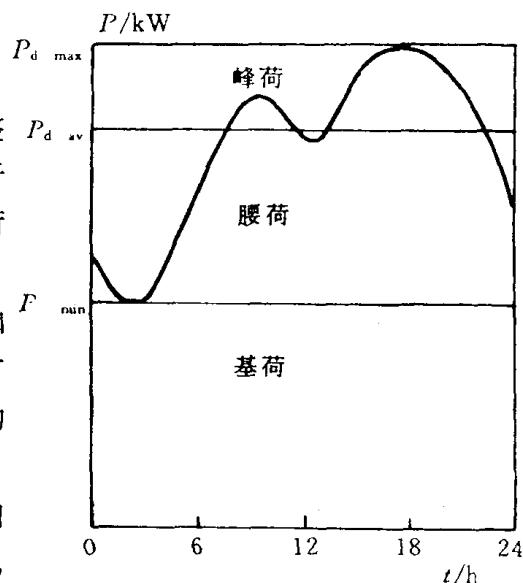


图 1-6 日负荷曲线

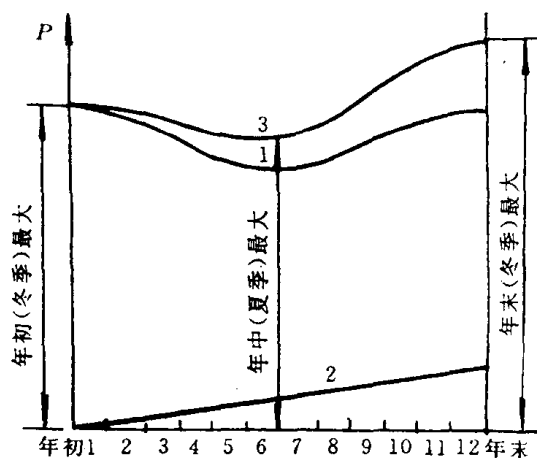


图 1-7 典型年最大负荷曲线

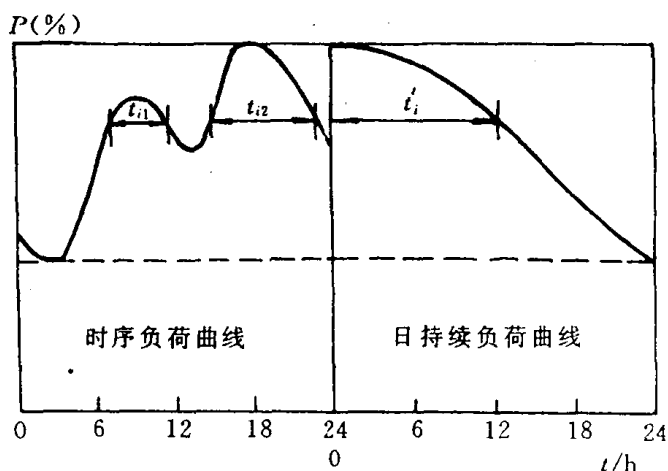


图 1-8 日持续负荷曲线