



普通高等教育“十二五”规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电力系统概论

(第二版)

杨淑英 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014003086

TM7-43
17-2



普通高等教育“十二五”

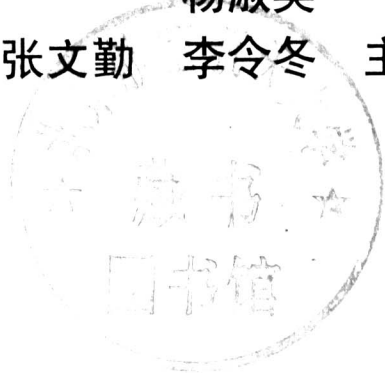


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电力系统概论

(第二版)

杨淑英 编
张文勤 李令冬 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



北航

C1688581

TM 7-43

17-2

380300310

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分为7章,主要内容包括电力系统的基本概念、电力系统各元件的参数及等值网络、电力系统的潮流分布、电力系统运行状况的优化和调整、电力系统故障分析与计算、电力系统继电保护、电力系统运行的稳定性分析。每章后均有习题及参考题,书后附有部分参考答案。

本书可作为高等学校非电类相关专业的教材,也可作为高职高专和函授教材,还可供电力系统相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统概论/杨淑英编.—2版.—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 978-7-5123-4514-0

I. ①电… II. ①杨… III. ①电力系统-高等学校-教材
IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第116793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

*

2007年9月第一版

2013年8月第二版 2013年8月北京第七次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.75印张 457千字

定价 34.00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

本书第一版教材出版后,受到了广大读者的普遍好评,使用效果良好。由于该书的体系、内容组织结构,符合高校电力工程领域专业课程教学学制和培养方向,因此受到了兄弟院校的青睐。现根据教学改革的发展需要,应中国电力教育协会的要求,予以修订。本书在第一版的基础上作了部分修改和补充,将反映的更全面、更完善,体现了实用性和先进性。

本次再版补充内容:第一章中增加了“发电厂和变电站的基本类型”,使学生对发电厂和变电站有一个初步认识,以增强兴趣;第二章中增加了表 1-2,以便学生做习题或搞设计时查资料方便;第三章中增加了第六节电力系统潮流的调整控制,为更好地管理电网实现经济功率分布、减小网损等建立理论基础;第三章第七节中还增加了用“P-Q 分解法计算潮流”,以增强学习深度,增多计算机算法,有利于学生掌握如何对修正方程的进行简化,比较牛顿法和 P-Q 分解法解题的特点。第五章第二节中增加了“短路全电流的最大有效值”的计算,以便用于电力系统电气设备选择。本书为报考研究生复试的指定参考书,所以每章习题中增加了思考题。

本书逐渐被人们所认识,需求量越来越大,适合作高等院校的使用教材,也可作为从事电力工程技术人员的参考书。

由于编写水平有限,书中难免有缺点、错误,诚恳读者批评指正。

编 者

2013 年 6 月

第一版前言

多年来,《电力系统稳态分析》和《电力系统暂态分析》为全国高等院校电气工程及其自动化专业使用的专业课程教材。随着教学改革的发展,很多高等院校增设了新的专业,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。为更好地满足目前的教学需要,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,我们编写了《电力系统概论》一书,力求使本书具有较强的系统性、先进性和教学适用性,以便能够使学生扎实地掌握电力系统基本理论知识,同时也能够为广大电力工程技术人员提供必要的基础理论、计算方法,从而更准确地掌握电力系统的运行情况,保证电力系统可靠、优质和经济的运行。

本书编写的主要目的是:使学生能从电力系统的全局观点出发,对电力系统中各元件的特性、作用及相互关系有比较全面的认识;在电力系统正常运行状况下能够正确分析和计算潮流分布,掌握电力系统电压和频率的调整原理;对电力系统故障运行情况有所了解,学会分析和计算简单故障的基本方法;对电力系统正常运行受到扰动后的现象有所了解,并能分析计算简单电力系统的暂态过程;能够掌握电力系统继电保护的基本原理,对单侧电源网络的电流保护、发电机和变压器的差动保护有较全面的认识。

全书共分为7章,概括了电力系统“一次部分”和“二次部分”的知识,每章配有习题与思考题。为提高教学水平及效果、实现现代化教学手段,编者还制作了与该书相配套的多媒体教学课件,并可从中国电力出版社教材中心网站 <http://jc.cepp.sgcc.com.cn> 上免费下载。该课件使用方便,实用性强。

本书由华北电力大学张文勤教授和安徽大学李令冬教授主审,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,诚恳读者批评指正。

编者

2013年1月

目 录

前言

第一版前言

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	9
第三节 电力系统的负荷	11
第四节 电力系统的接线方式和额定电压	14
第五节 电力线路的结构	21
习题与思考题	27
第二章 电力系统的元件参数及等值网络	29
第一节 电力系统各元件的参数和等值电路	29
第二节 简单电力系统的等值网络	48
习题与思考题	55
第三章 电力系统的潮流分布	59
第一节 电力线路运行状况的分析与计算	59
第二节 变压器运行状况的分析与计算	65
第三节 辐射形网络中的潮流分布	68
第四节 闭环网中的潮流分布	75
第五节 电力网络的简化	83
第六节 电力系统潮流的调整控制	88
第七节 电力系统潮流分布的计算机算法	91
习题与思考题	114
第四章 电力系统运行状况的优化和调整	119
第一节 电力系统无功功率的平衡和电压调整	119
第二节 电力系统有功功率的优化分配及频率调整	141
习题与思考题	160
第五章 电力系统故障分析与计算	165
第一节 故障概述	165
第二节 由无限大功率电源供电的三相短路分析	167
第三节 电力系统三相短路的实用计算	173
第四节 简单不对称故障的分析与计算	183
习题与思考题	201
第六章 电力系统继电保护	205
第一节 继电保护的基本知识	205

第二节	单侧电源网络相间短路的电流保护·····	208
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·····	222
	习题与思考题·····	228
第七章	电力系统运行的稳定性分析 ·····	231
第一节	电力系统稳定性的基本概念·····	231
第二节	旋转电机的机电特性·····	232
第三节	电力系统运行的静态稳定性·····	238
第四节	电力系统运行的暂态稳定性·····	246
	习题与思考题·····	261
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
	习题参考答案·····	283
	参考文献·····	291

第一章 电力系统的基本概念

本章阐述了电力系统的基本概念和电力线路的结构两个方面的问题，从中可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。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。

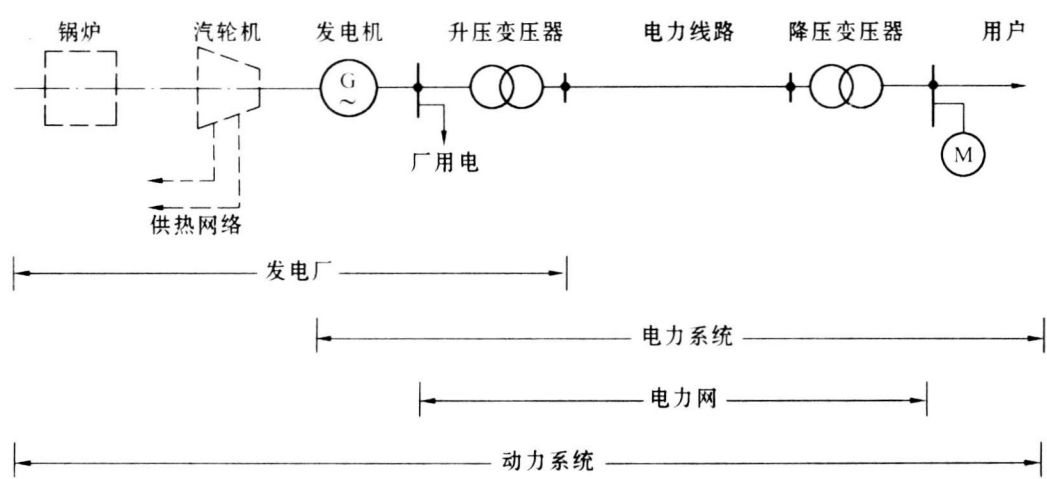


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

电力系统中的电气设备也被称为电力系统的元件，它们之间既有区别，又互相作用。发电机产生电能，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。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、用户的用电设备等在电气上相互连接所组成的有机整体。

图 1-1 所示简单电力系统中，除去发电机、用户的用电设备，剩下的部分，即电力线路及其两边连接的变压器，称为电力网，简称电网。

电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站组成的网络。

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，包含配电线路的电网称为配电网。

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

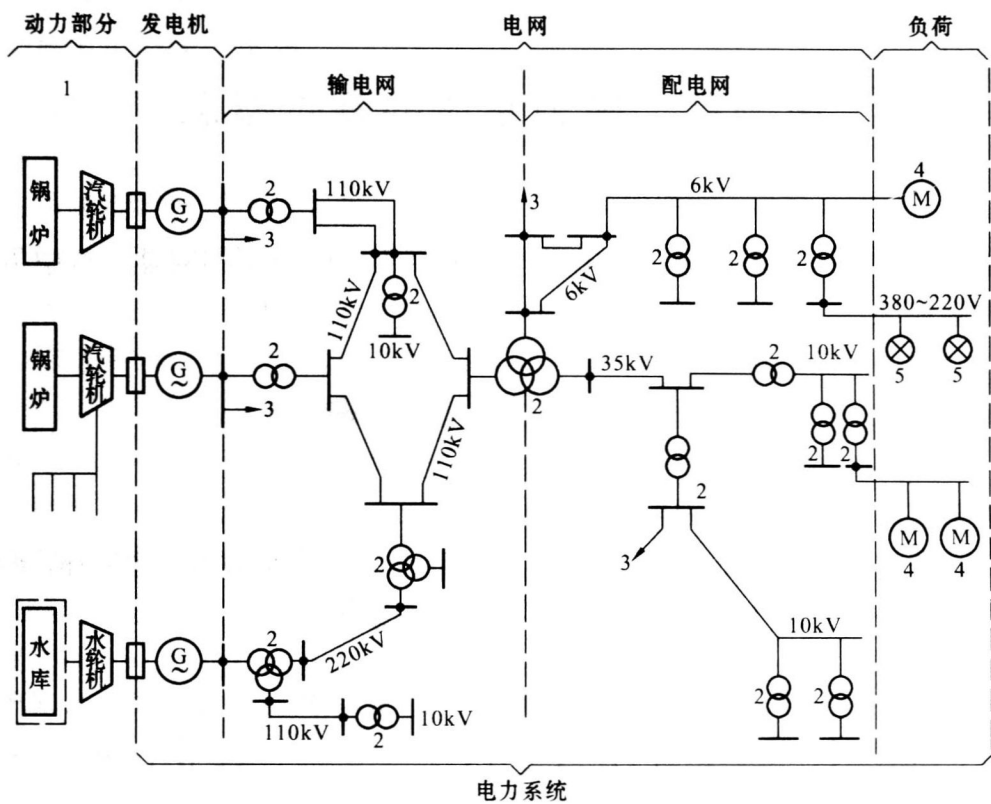


图 1-2 复杂电力系统示意图

1—动力部分；2—变压器；3—负荷；4—电动机；5—照明灯

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，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 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。

凝汽式火力发电厂生产过程如图 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 a、b、c 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网。

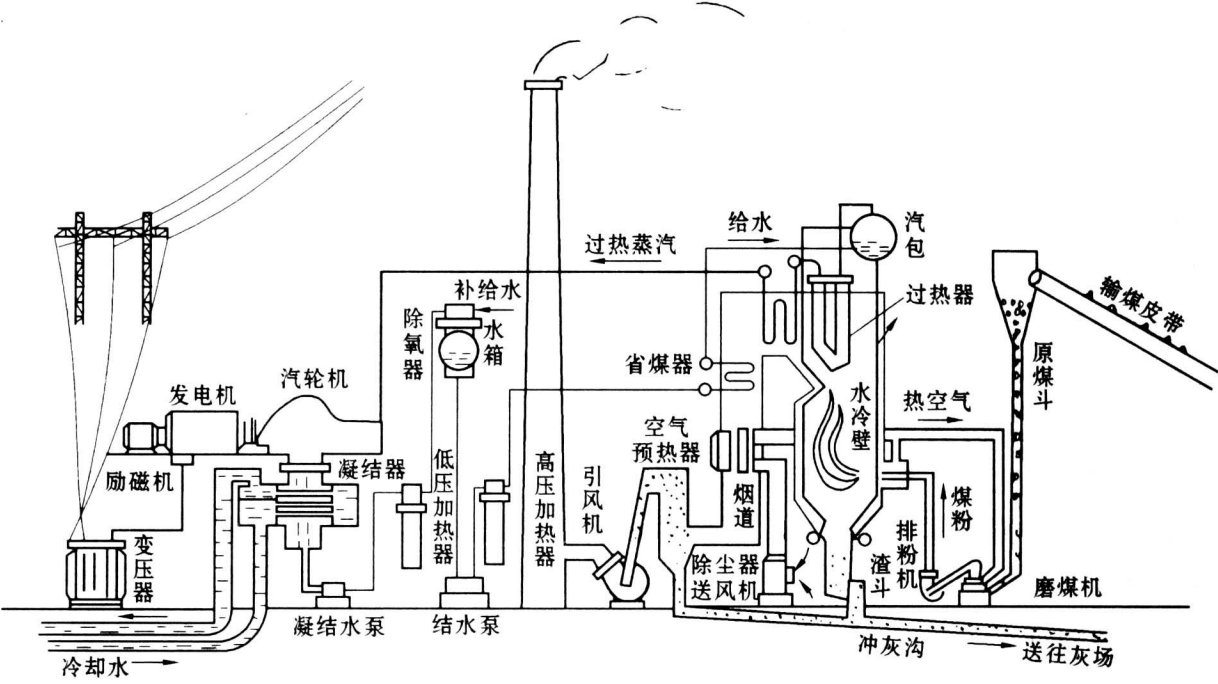


图 1-3 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

二、发电厂和变电站的基本类型

发电厂相当于电源，是将其他形式的能源转换为电能的特殊工厂。发电厂所生产的电能经升压变压器升压，然后又经输电线输送到负荷的中心，再经降压变压器后供给用户使用。发电厂是电力系统的首要环节，变电站是输送电能的中心环节，发电厂和变电站都是非常重要的环节。下面对发电厂和变电站的类型做一些简单介绍。

(一) 发电厂的类型

可根据所利用能源的形式不同，发电厂的类型分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、风力发电厂等。

目前电力系统中主要还是火力和水力发电厂。

1. 火力发电厂

火力发电厂系指以燃料（主要是煤，其次是石油或天然气）为能源的发电厂。火力发电厂中的原动机大都为汽轮机，也有个别地方采用柴油机、燃气轮机。

火力发电厂又可分为凝汽式火电厂和热电厂。

(1) 凝汽式火电厂，简称火电厂。凝汽式火电厂的锅炉产生蒸汽，通过导气管送至汽轮机，具有一定温度和压力的气体喷打在汽轮机叶片上，使叶片转动带动转子转动，汽轮机和发电机是同轴（转子）的，发电机定、转子均绕着绕组（即转子绕组和定子绕组），因转子转动形成旋转的磁场，发电机定子绕组（不动）在旋转的磁场内被磁力线所切割，因此在定子绕组中感应电动势，有电流产生。如图 1-3 所示。

在汽轮机已做过功的蒸汽排入凝汽器内冷却成水，又重新送回锅炉使用。由于在凝汽器中，大量的热量被循环水带走，所以凝汽式火电厂效率较低，只有 30%~40%。

(2) 热电厂。热电厂是即发电又供热的电厂。热电厂与火电厂不同之处在于，汽轮机中的一部分做过功的蒸汽从中间段抽出来，通过供热网络供给热用户。这样可以减少被循环水

带走的热量损失, 提高总效率。现代热电厂的总效率可高达 $60\% \sim 70\%$ 。

另外, 有条件的大型厂矿企业建设自备电厂, 这类电厂的原动机一般为小型汽轮机或柴油机。

火力发电厂的特点: ①电厂布局灵活; ②一次性建设投资小; ③耗煤量大; ④设备繁多; ⑤开机停机损耗大; ⑥能担负调峰调频任务; ⑦对空气污染大。

2. 水力发电厂

利用水能源来发电的电厂称为水力发电厂。水力发电厂将水的位能和动能转换成电能。水力发电厂容量的大小取决于上下游的水位差和流量的大小。因此, 建设水电厂必须在上游建设水坝。将江、河道上的水集中起来落差到下游, 形成所需要的水头。按集中落差的方式不同, 水力发电厂可分为不同的形式, 下面分别介绍。

(1) 堤坝式水电厂。在河床上游修建拦河大坝, 将水积蓄起来, 以抬高上游水位形成水库。这样, 堤坝上游水库水面与堤坝下游河流水面形成水头, 用输水管或隧道把水引入发电厂厂房, 通过水轮机—发电机组发电。这种开发方式称为堤坝式水力发电厂。它又可分为堤后式和河床式两种。

1) 堤后式水电厂。这种水电厂的厂房建筑在坝的后面, 全部水头由坝体承受, 水库的水由压力水管引入厂房, 转动水轮发电机组发电, 堤后式水电厂适合于高、中水头的情况, 如图 1-4 所示。

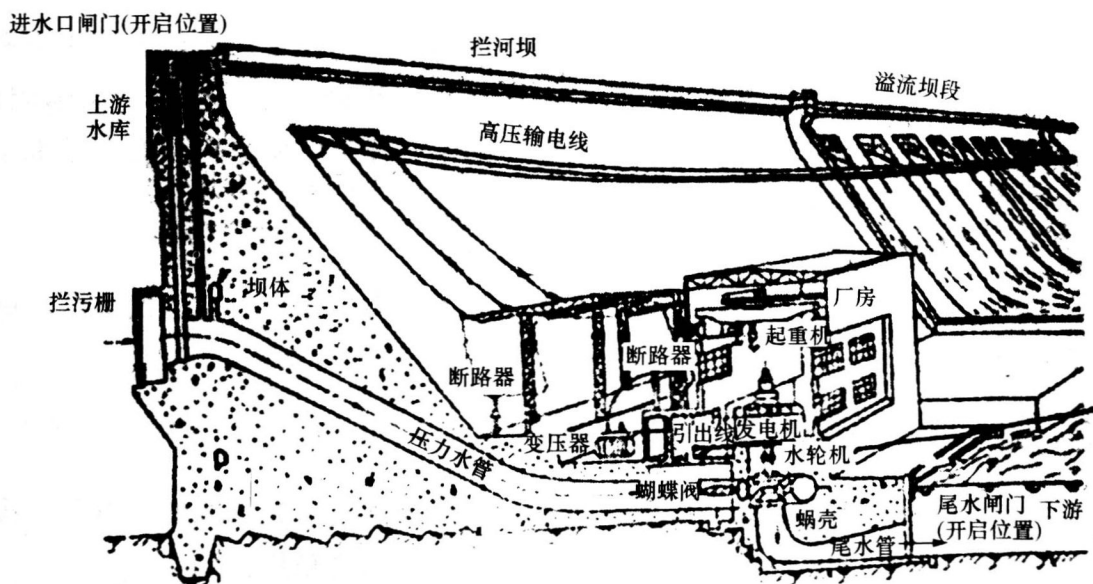


图 1-4 堤后式水电厂

2) 河床式水电厂。这种水电厂的厂房和挡水堤坝连成一体 (一排), 厂房也起挡水作用, 因修建在河床中, 故名河床式, 水头一般在 $20 \sim 30\text{m}$ 以下, 如图 1-5 所示。

(2) 引水式水电厂。引水式发电厂建筑在山区水流湍急的河道上, 或河床坡度较陡的地段, 由引水渠道造成水头, 而且一般不需修坝, 只修堤堰即可, 如图 1-6 所示。

(3) 混合式水电厂 (抽水蓄能)。在适宜开发的河段拦河筑坝, 坝上游河段的落差由坝集中, 坝下游河段的落差由压力引水道集中, 而水电厂的水头则由两部分落差共同形成, 这种集中落差的方式称为混合开发模式, 如图 1-7 所示。

水电厂特点: ①发电量受约束于水库, 应合理利用水源, 洪水期多发电, 枯水期少发

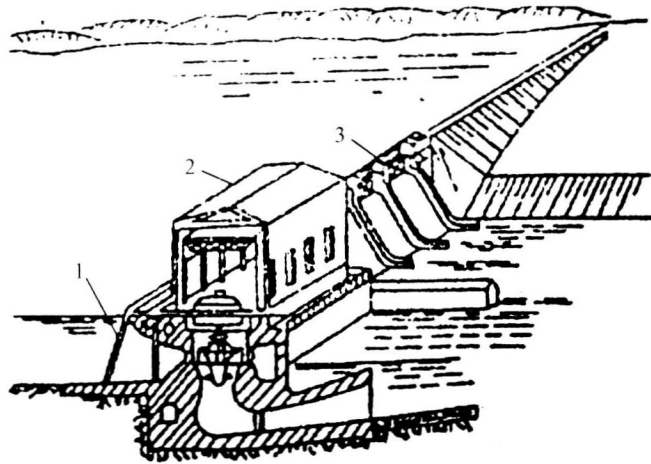


图 1-5 河床式水电站
1—进水口；2—厂房；3—溢流坝

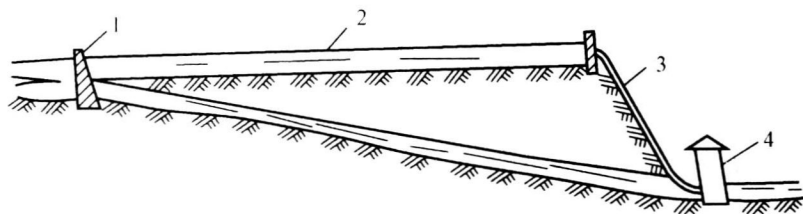


图 1-6 引水式水电站
1—堰；2—引水渠；3—压力水管；4—厂房

电；②发电成本低，效率高；③运行灵活；④可调容量大；⑤污染小；⑥建设投资大，工期长。

3. 核电厂

核电厂是利用核裂变能转换为热能，被高压水带至蒸汽发生器产生蒸汽，再按火电厂的发电方式发电。它的核反应堆相当于火电厂的锅炉，核电厂所需的燃料较少。

在核反应堆内，铀-235 在中子的撞击下，使原子核裂变，产生巨大的能量（铀-235 全部裂变时所释放的能量为 $8 \times 10^{10} \text{J}$ 热量），主要是以热能的形式被高压水带至蒸汽发生器，在此产生蒸汽，送至汽轮发电机组发电。1kg 的铀-235 所发出的电力，约等于 2700t 煤所发出的电力，因此，核电厂所需的燃料极少。

我国独立研制的核电厂有浙江秦山核电厂，容量为 1×30 万 kW，于 1991 年并网发电；广东大亚湾核电厂，容量为 2×90 万 kW，与 1994 年建成投产。

核电厂特点：①原料少，经济；②干净；③发电容量大；④一旦发生事故，对人危害很大。

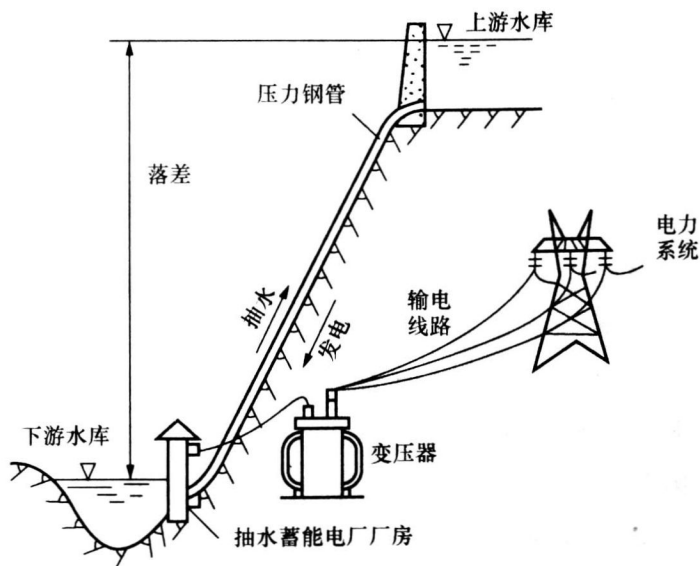


图 1-7 抽水蓄能水电站

4. 其他方式发电

利用其他能源发电的方式有风力发电、地热发电、潮汐发电、沼气发电、太阳能发电等。另外,还有直接将热能转换成电能的磁流体发电、电气体发电等。

(二) 变电站的类型

在电力系统中,变电站是联系发电厂和用户的中间环节,它起着变换和分配电能的作用。如图 1-8 所示电力系统中,接有大容量的水电厂和火电厂,某水电厂通过有 500kV 的超高压输电线路与某枢纽变电站相连,此枢纽变电站与 220kV 环网相连,环网中有中间变电站 (220/35kV) 和地区变电站 (220/110/10kV),地区变电站中最后有终端变电站。

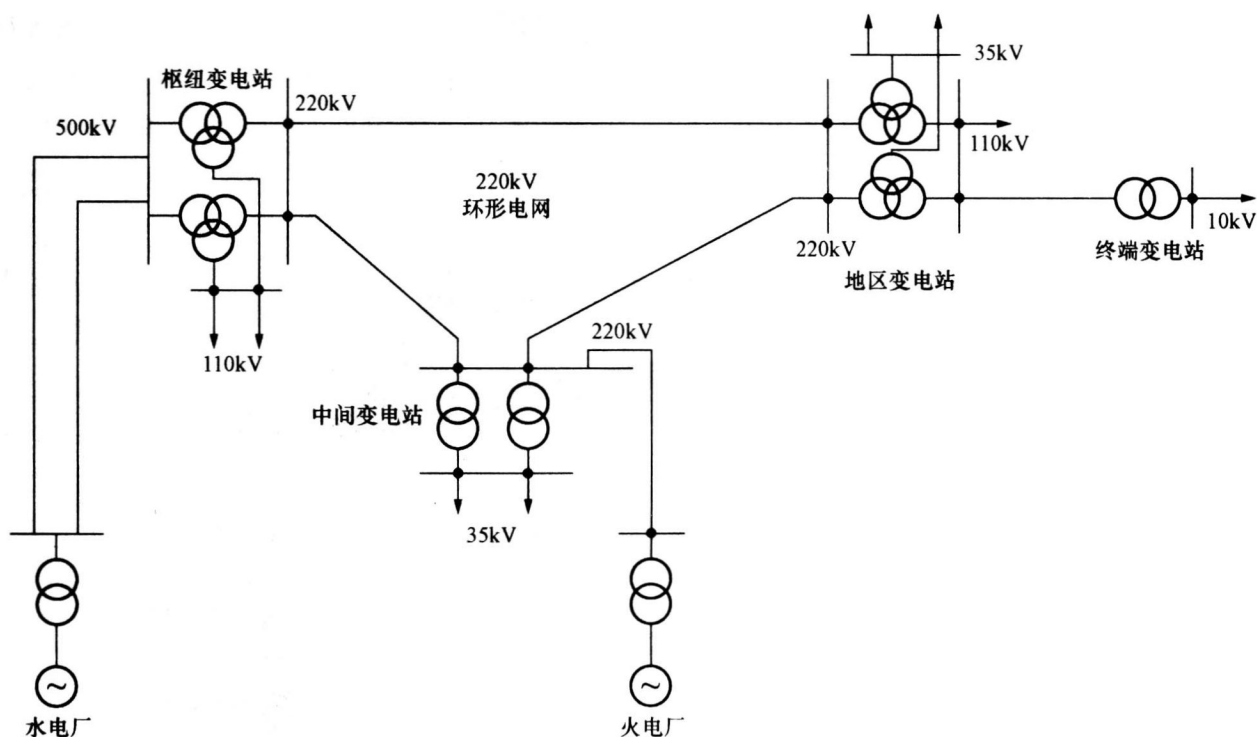


图 1-8 含多个变电站的电力系统原理接线图

根据变电站在电网中的位置不同,可分为下列几种类型。

1. 枢纽变电站

枢纽变电站位于电力系统的枢纽点,它连接电力系统高压和中压的几个部分,汇集多个电源,电压等级较高,如 330~500kV 等。若枢纽变电站发生事故出现全站停电,将导致系统解列,甚至出现全系统崩溃的灾难局面。

2. 中间变电站

高压侧以穿越功率为主,在系统中起交换功率的作用或使高压远距离输电线路分段的变电站,称为中间变电站。它一般汇集 2~3 个电源,电压等级多为 220~330kV,同时又降压给当地用户。

3. 地区变电站

高压侧电压一般为 110~220kV,对地区用户供电为主,是一个地区或城市的主要变电站。全站停电时,只是该地区中断供电,影响面积小。

4. 终端供电站

在输电线路的终端,接近负荷点,高压侧电压多为 110kV 或更低,一般经降压后直接

向用户供电的变电站，称为终端供电站。这类变电站若全站停电，只是用户受到影响。

有时，将变电站按其用途分类为升压变电站（升压站）、降压变电站、联络变电站、工厂企业变电站、农村变电站、整流变电站、牵引变电站等。

三、我国电力系统的发展

我国电力工业在新中国成立前虽有 60 多年的历史，但是，其规模很小，技术落后，发展得很缓慢。自 1882 年在上海建立了第一座发电厂开始，直到 1948 年，60 多年只留下总容量为 185 万 kW 的发电设备，年发电量只有 43 亿 kWh，当时占世界第 23 位。

新中国成立后，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	1996	23 654	10 793. 85
⋮	⋮	⋮	1997	25 424	11 342. 04
1980	6587	3006. 20	1998	27 729	11 576. 97
1981	6913	3092. 69	1999	29 877	12 331. 41
1982	7236	3276. 78	2000	31 932	13 684. 82
1983	7644	3514. 39	2001	33 861	14 838. 56
1984	8012	3769. 91	2002	35 026	16 400. 00
1985	8705	4106. 90	2003	38 450	19 080. 00
1986	9382	4495. 71	2004	44 000	21 870. 00
1987	10 290	4973. 21	2005	51 718. 48	24 747. 00
1988	11 550	5450. 65	2006	62 200	28 300. 00
1989	12 664	5846. 80	2007	71 329	32 800. 00
1990	13 789	6213. 18	2008	79 253	34 330. 00
1991	15 147	6774. 94	2009	87 400	36 506. 22
1992	16 653	7541. 89	2010	96 200	41 413. 00
1993	18 291	8364. 29	2011	105 600	46 037. 00
1994	19 990	9278. 78	2012	114 491	49 774. 00
1995	21 722	10 069. 48			

近年来，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。根据国家能源局统计，到 2012 年底，全国发电装机容量达 114 491 万 kW，年均增长率 7.8%，其中，水电 22 859 万 kW、煤电 78 090 万 kW、气电 3827 万 kW、抽水蓄能 2031 万 kW、风电 6083 万 kW、核电 1257 万 kW、太阳能 328 万 kW、其他 16 万 kW。目前我国发电装机容量居世界第二位。

2012 年，全国共完成发电量 49 774 亿 kWh，年均增长率 5.2%，其中，水电发电量

8641 亿 kWh、煤电 37 914 亿 kWh、气电 1194 亿 kWh、风电 1004 亿 kWh、核电 982 亿 kWh、太阳能发电 35 亿 kWh、其他发电量 4 亿 kWh。2012 年全社会用电量累计达 49 591 亿 kWh。我国水电装机、风电装机,以及核电在建规模都是世界第一。

根据国家能源局研究预测,我国发电装机容量到 2015 年约 14.2 亿 kW,2020 年 20 亿 kW,2050 年 38 亿 kW。我国发电量预计到 2015 年将达 6.15 万亿 kWh,2020 年实现全面小康时,约 7.94 万亿 kWh,人均 5570kWh/年;2050 年达到发达国家水平时,约 13.5 万亿 kWh,人均 9300kWh/年。我国成为当之无愧的世界第一的发电大国、发电强国。

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 30、50、60、70 万 kW 的机组已成为我国电网的主力机型。目前,全国最大的水力发电厂是三峡水电站,26 台机组从 2003 年起至 2009 年陆续投产发电,单机容量为 70 万 kW,总装机容量 1820 万 kW。最大的火力发电厂是内蒙古托克托电厂,10 台机组总装机容量 540 万 kW。其中 8 台 60 万 kW 机组通过 500kV 升压站接入京津唐电网,2 台 30 万 kW 机组通过 220kV 升压站接入蒙西电网。其次是浙江北仑发电厂,装机容量为 500 万 kW,5 台 60 万 kW 和 2 台 100 万 kW。

从电网方面看,电压等级越来越高,输送距离越来越远。各省区的电网都相继连成,仅跨省连接的大电网分为 6 个,它们是东北电网、华北电网、华东电网、华中电网、南方电网和西北电网。全国最高电压等级为 1000kV,已赶超世界先进水平。我国超高压及以上第一条输电线路建成如下:

1972 年建成第一条 330kV 超高压输电线路,由甘肃刘家峡水电厂到陕西关中地区。

1981 年建成第一条 500kV 超高压输电线路,由河南姚孟火电厂到武汉。

2004 年建成第一条 750kV 超高压输电线路,由青海官亭到兰州东。

2008 年建成第一条 1000kV 特高压输电线路,由山西晋东南—河南南阳—湖北荆门。

按照国家电网公司规划,到 2015 年,将建成“两纵两横”特高压同步电网,2017 年将建在“三纵三横”特高压同步电网。2013 年年内开工 7 项特高压工程,包括蒙西—长沙(为两纵中的西纵)、雅安—武汉(为两横中的南横)、淮南—南京—上海、浙江—福州 4 项 1000kV 交流输变电工程。另有锡盟—泰州、蒙西—武汉、宁东—浙江 3 项 ±800kV 直流输变电工程。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。预计 2050 年华北、华东、华中、南方电网装机将超过 6 亿 kW,相当于目前欧洲大陆电网水平,1000kV 特高压交流将逐步成为骨干网架,西北电网装机达 4 亿~5 亿 kW,东北电网 3 亿 kW 左右。建成一批输送大型水电、风电、太阳能发电基地的跨区远距离特高压、超高压交直流输电工程,西电东送、北电南送和电网间交换增强,大力提高电网智能化水平,建成世界一流智能电网。

我国电力工业的技术水平和管理水平日益提高。现在,许多电厂实现了集中控制和采用计算机监控,电力系统也实现了分级集中调度(省调、地调),所有电力企业都在努力增产节约、降低成本、确保安全运行。电力工业是国民经济的重要部门之一,它既为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供不可缺少的动力,又和广大人民群众日常生活有着密切关系。电力工业的发展必须优先其他工业部门,整个国民经济才能迅速前进。当前,电力事业虽然取得了很大成绩,发展越来越快,但我国是一个地大物博、人口众多的国家,电能的需要量很大。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

电能在各种能源中占有特殊的地位，其优点为：

- (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，所以电能成为被广泛使用的一种能源。

二、电力系统运行的特点

任何一个系统都有它自己独有的特征。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应等于该时刻用户使用的电能以及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

电能以电磁波的形式传输，其速度近似于光的速度，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越来越高。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，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，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、第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,会随着国家的技术经济政策而改变。

2. 保证良好的电能质量

我国已先后颁布了六个有关电能质量的国家标准,即供电电压允许偏差、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、电压允许波动和闪变、暂时过电压和瞬态过电压。这些国家标准的制定,无疑是为了保证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)使电能的非线性、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%。

关于电能质量的暂时过电压和瞬态过电压,按国标规定有下列指标。

1) 系统工频过电压限值。如工频过电压限值3~10kV为 $1.1\sqrt{3}$,35~66kV为 $\sqrt{3}$,110~220kV为1.3。

2) 操作过电压限值。标准过电压限值如110~252kV为3.0,330kV为2.2,500kV为2.0。

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、电压波动和闪变、暂时过电压和瞬态过电压。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、厂用电率和电网的电能损耗等指标上。