



普通高等教育“十二五”规划教材
电气工程及其自动化专业规划教材

发电厂变电站电气部分

王成江 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013033724

TM62
21



普通高等教育“十二五”
电气工程及其自动化专业规划教材

发电厂变电站电气部分

主编 王成江
编写 陈 铁 牛祖衡 姚明仁
主审 涂光瑜



北航

C1641136



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TM62
21

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。

本书以发电厂变电站电气部分为对象，系统地论述了电气主系统、厂用电、配电装置、过电压防护及接地、自动化及二次回路、电力设备选择原理、方法及运行等基本内容，还结合发电厂变电站新技术的应用，介绍了 GIS 原理与设计、电能质量及控制、智能变电站及其设计等新内容。

本书共分十二章，第一章是概述发电厂变电站电气部分；第二章论述绝缘、导电与电气设备选择原理；第三章论述电路的关合、开断与开关电器；第四章论述电气主接线及其设计；第五章论述厂用电及其设计；第六章论述配电装置；第七章论述过电压防护与接地；第八章论述 GIS 原理与设计；第九章论述电能质量及其控制；第十章论述发电厂变电站的自动化系统与二次回路；第十一章论述智能变电站及其设计；第十二章论述电力设备运行。最后是附录。

本书为普通高等院校电气工程及其自动化专业、电力系统及其自动化专业及相关专业的教材，同时亦可作从事发电厂和变电站的电气设计、运行、管理及相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂变电站电气部分/王成江主编. —北京: 中国电力出版社, 2013. 2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4078-7

I. ①发… II. ①王… III. ①发电厂—电气设备—高等学校—教材②变电所—电气设备—高等学校—教材 IV. ①TM62②TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 029653 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)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 585 千字

定价 42.00 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

本书以发电厂变电站电气部分的设计、运行和维护为主线，讲述发电厂变电站中电气设备的构成原理、工作原理、性能指标和设备选型方法；论述电气主系统、厂用电、配电装置、过电压防护及接地、自动化及二次回路的原理、设计和运行的基本理论；同时根据电力系统的发展，加入了电能质量、GIS原理及设计、智能变电站等新内容。在编写过程中，力求突出以下特点：

(1) 实用性。以发电厂变电站的设计、运行和维护为导向，组织教材的内容，淡化理论推导及不常用的复杂计算，突出基本概念和方法，力求学生在学完这门课程后，能掌握发电厂变电站的设计和运行工作。

(2) 系统性。按照设备和电路的功能来架构本书的结构，首先讲述电气设备导电、绝缘，电路关合、开断的基本理论，由理论自然引出相应设备，再由设备组成系统，实现具体的发电厂和变电站，然后论述发电厂和变电站中新技术的应用，力求做到内容完整，条理清楚，可读性强。

(3) 先进性。电能质量、GIS原理及运行、智能变电站等各自成章，介绍新技术、新产品的原理、构成及设计等内容。

本书由三峡大学电气与新能源学院发电厂电气部分课程组的教师合作编写。其中王成江教授任主编，完成了第一、六、七、八、九、十、十一、十二章、第二章及附录部分内容的编写及全书的统稿工作；陈铁老师完成了第二、三、五章大部分内容的编写工作；牛祖衡老师完成了第四章内容的编写工作；姚明仁老师参与了教材大纲的制订，部分习题的编制工作。

全书由华中科技大学涂光瑜教授主审，涂老师逐字逐句地审阅了书稿，并给出了非常细致的修改意见，这里对涂老师的工作表示敬意和感谢。

教材编写过程中，参考了很多教材、标准及文献，这里表示感谢。

由于本书编写时间仓促，书中难免存在不足及疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年1月



目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 我国电力工业的发展概况	1
第二节 发电厂与变电站	5
第三节 发电厂变电站电气部分	12
思考题	18
第二章 绝缘、导电与电气设备选择原理	19
第一节 绝缘及绝缘子	19
第二节 常用导体	22
第三节 电流流过导体时的热效应	26
第四节 电流流过导体时的电动力	36
第五节 电气设备选择原理	43
第六节 常用导体、电缆、绝缘子及间隙选择	46
思考题	60
第三章 电路的关合、开断与开关电器	62
第一节 电接触	62
第二节 电弧理论及其熄灭方法	67
第三节 高压断路器及其选择	74
第四节 高压隔离开关和负荷开关	80
第五节 熔断器	83
思考题	86
第四章 电气主接线及其设计	88
第一节 电气主接线	88
第二节 单母线接线形式	90
第三节 双母线接线形式	95
第四节 无母线的电气主接线	104
第五节 发电厂变电站主变压器的选择	109
第六节 限制短路电流的方法	114
第七节 电气主接线的设计原则和设计程序	119
第八节 各种类型发电厂和变电站主接线的特点	126
思考题	132
第五章 厂用电及其设计	134
第一节 基本概念	134

第二节	厂用电的接线方式和设计原则	135
第三节	发电厂和变电站的厂(站)用电典型接线分析	140
第四节	厂用变压器的选择	146
第五节	厂用电动机的选择及校验	152
思考题		160
第六章	配电装置	161
第一节	概述	161
第二节	屋内配电装置	165
第三节	屋外配电装置	167
第四节	成套配电装置	171
第五节	发电机、变压器与配电装置的连接	175
第六节	发电厂变电站的配电装置设计	176
思考题		181
第七章	过电压防护与接地	182
第一节	过电压防护	182
第二节	发电厂变电站的接地	184
第三节	接地	184
第四节	接地装置设计	194
思考题		203
第八章	GIS原理与设计	204
第一节	SF ₆ 的绝缘与灭弧性能	204
第二节	GIS的构成原理	208
第三节	GIS的主接线及设计	215
第四节	GIS的运行	221
思考题		223
第九章	电能质量及其控制	224
第一节	基本概念	224
第二节	无功功率补偿	231
第三节	串联电容补偿	240
第四节	动态电压恢复	243
第五节	谐波抑制	247
思考题		251
第十章	发电厂变电站的自动化系统与二次回路	252
第一节	变电站自动化系统	253
第二节	发电厂自动化系统	259
第三节	互感器	262
第四节	二次接线	275
第五节	断路器的控制	284
思考题		288

第十一章 智能变电站及其设计	289
第一节 基本概念.....	289
第二节 电子式互感器.....	290
第三节 智能一次设备.....	300
第四节 智能变电站自动化系统.....	302
第五节 智能变电站设计与布置.....	310
思考题.....	317
第十二章 电力设备运行	319
第一节 电力设备的绝缘老化.....	319
第二节 电力变压器的运行.....	323
第三节 同步发电机的运行.....	331
第四节 高压断路器的运行.....	340
思考题.....	343
附录 A 导体长期允许载流量和集肤效应系数.....	345
附录 B 开关设备技术数据.....	349
附录 C 变压器技术数据.....	352
附录 D 互感器的主要技术参数.....	363
附录 E 限流电抗器技术数据.....	368
附录 F 支柱式绝缘子和穿墙套管主要技术数据.....	369
附录 G 电容器技术数据.....	370
附录 H 避雷器的电气特性.....	371
参考文献	373

第一章 概 述

第一节 我国电力工业的发展概况

电能方便转换和传送,易于控制和分配,容易实现自动化。目前,电能已广泛地应用到一切生产部门和日常生活领域,成为社会发展不可缺少的动力。可以说,整个国民经济的发展,都与电力工业的发展有密切关系。

一、电力工业现状

“十一五”期间,我国全社会用电量从2005年的2.48万亿kWh增长到2010年的4.19万亿kWh,年均增长11%。人均用电量从2005年的1632kWh/人年,提升到2009年的2742kWh/人年。

1. 电源

(1) 常规能源。常规能源主要由火电、水电和核电组成。

从1996年起,我国发电装机容量和年发电量均居世界第二位。2000年,全国装机容量已达3.19亿kW,年发电量超过了13 684亿kWh;2003年全国总装机容量达到3.845亿kW,年发电量19 080亿kWh,2004年全国总装机容量达到4.47亿kW,2004年电力弹性系数达到1.6。

“十一五”期间我国装机累计增长86%,年均增速超过13.22%,由2005年末的5.2亿kW发展到2010年的9.6亿kW,年新增装机超过9000万kW,与“十五”末相比,装机规模接近翻番。

2010年底,水电装机容量2.1亿kW,占全国电力总装机的22%。核电装机容量1082万kW,风电装机容量连年翻倍增长,并网装机容量3107万kW。水电、核电、风电、太阳能发电等清洁能源装机容量比重由2005年的24.2%,上升到目前的26.5%。

(2) 新能源。传统的燃料能源正在一天天减少,能源问题已经成为不容忽视的全球性问题。根据世界能源权威机构的分析,世界已探明的主要矿物燃料储量和开采量不容乐观。石油剩余可采年限仅有40年左右,占世界能源年消耗量的40.5%;天然气剩余可采年限不到60年,占世界能源年消耗量的24.10%;煤炭剩余可采年限200年左右,占世界能源年消耗量的25.2%;铀剩余可采年限70年左右,占世界能源年消耗量的7.6%;另有水力,占世界能源年消耗量的2.6%。

寻找新能源,已经成为当务之急。人们就把目光聚焦在了身边的可再生能源,风能、太阳能、地热能、生物质能发电……这些新能源都成为替代传统一次性能源的新目标。

2009年,全球新增风电装机容量为3810万kW,累计装机1.6亿kW,风电成为非水电可再生能源中第一个全球装机超过1亿kW的电力资源。欧洲和美洲占据绝对统治地位,到2009年底,欧洲总装机容量达到7655万kW,美洲总装机容量达到4035万kW。美国是目前世界风电装机容量最大的国家,达到3515.9万kW。根据国际能源署(IEA)2008年颁布的《2050年能源技术情景》判断,2010~2050年,全球风电平均将每年增加7000万

kW, 风电正成为一个庞大的新兴电力产业。目前世界上有超过 40 个国家拥有风力发电厂, 大多位于欧洲、北美洲、东亚等地; 而风力发电较发达(技术、设备等)的国家包括丹麦、西班牙、德国、美国等。若依据装置容量来分, 2006 年前五名的国家依序分别为德国、西班牙、美国、印度与丹麦。目前主流机组为 2000kW, 最大机组为 5000kW。

我国自 1986 年建成山东荣成第一个示范风电场至今, 风电装机规模不断扩大。到 2010 年底, 全国并网风电装机达到 3107 万 kW, 全国风电吊装容量跃升至 4183 万 kW, 首次超过美国, 跃居世界第一。目前, 新疆为中国风力发电量最大的省。

如果把地球表面 0.1% 的太阳能转为电能, 转变率为 5%, 每年发电量可达 5.6×10^{12} kWh, 相当于目前全世界能耗的 40 倍。根据欧洲光伏工业协会(EPIA)的报告统计, 到 2009 年底, 全球光伏发电累计装机容量 22GW_p (1GW_p=100 万 kW)。其中, 2009 年新增光伏发电容量 7.2GW_p, 年增长率 49%。到 2009 年底, 德国累计光伏装机容量为 97.79GW_p, 继续保持世界光伏装机容量排名第一, 西班牙和日本累计光伏装机容量分别为 33.86GW_p 和 26.33GW_p, 位居世界二、三位。2009 年底, 我国(不含港澳台)累计光伏装机容量为 2.84GW_p, 位居世界第九位。

根据欧盟委员会联合研究中心(JRC)的预测, 到 2030 年太阳能发电将在世界电力的供应中显现其重要作用, 达到 10% 以上, 可再生能源在总能源结构中占到 30%; 2050 年太阳能发电将占总能耗的 20%, 可再生能源占到 50% 以上, 到本世纪末太阳能发电将在能源结构中起到主导作用。

2. 电网

2003 年, 我国 750kV 超高压输变电工程在西北地区开始建设。2005 年 10 月, 全长 146km 的青海官亭—兰州东 750kV 输电示范工程投运, 750kV 成为西北电网主网架。2009 年 1 月, 晋东南—荆门 1000kV 特高压交流试验示范工程投入商业运行, 500kV 成为各省级电网主网架。

1989 年, 中国第一条 500kV 直流输电线路(葛洲坝—上海, 1080km)建成投入运行, 实现了华中电力系统与华东电力系统互联, 形成中国第一个跨大区的联合电力系统。世界上电压等级最高的云南—广东±800kV 特高压直流工程和向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程分别于 2010 年 6 月和 7 月竣工投产。

“十一五”期间, 我国 220kV 及以上输电线路增长了 74.5%, 公用变电站设备容量增长了 134%, 分别从 2005 年末的 25.4 万 km、8.43 亿 kVA 发展到 2010 年的 44.3 万 km、19.74 亿 kVA。2010 年全国跨区跨省交易电量达到 5000 亿 kWh 左右, 比“十五”期间提高了近 90%。

二、电力技术水平

目前, 我国电力工业已开始进入“大机组”、“大电网”、“超高压”、“智能化”、“核电”的发展新阶段, 科技水平不断提高, 调度自动化、光纤通信、计算机控制等高新技术已在电力系统中得到了广泛应用。

(1) 发电技术。为实现全国节能减排的目标, “十一五”期间, 电力行业已累计关停小火电机组 7077 万 kW, 国产 30 万~60 万 kW 火电机组已成为主力机组。60 万 kW 及以上清洁机组占火电机组比重达到 34%, 其中在运百万 kW 超超临界机组已经达到 30 多台, 我国成为世界上拥有超超临界机组最多的国家。宁夏灵武电厂二期工程百万千瓦机组建成投产,

成为世界上首个百万 kW 超超临界空气冷却发电机组。

2010 年全国平均供电煤耗 335g/kWh, 较 2005 年下降 35g/kWh, 低于 2006 年的美国 (356g/kWh)、澳大利亚 (360g/kWh); 全国电力二氧化硫排放 9260kT, 比 2005 年降低约 29%; 单位火电发电量二氧化硫排放 2.7g/kWh, 比美国 2009 年低 0.7g/kWh, 达到世界先进水平。

70 万 kW 级水电机组实现国产化, 大坝施工、大型水电机组的设计、制造、安装和运行等技术走在了世界前列。最大的水轮机组容量 70 万 kW, 安装在三峡水力发电厂, 随着三峡水电站的建成, 我国的水电装机容量跃居世界第一。

广东台山核电站一期工程是采用 EPR 核电技术建设的大型商用核电站, 单机容量 175 万 kW, 是目前世界上单机容量最大的核电机组。风电、太阳能等其他可再生能源发电技术通过引进和吸收得到进一步提高。2010 年, 上海东海大桥海上风电场 34 台风机全部正式并网, 成为亚洲首个大型海上风电并网发电项目。

(2) 输电技术实现重大突破。直流输电电压等级、线路总长度和输送容量居世界第一, 电网大范围、大规模、高效率优化资源配置的能力大幅提升。

2010 年全国电网线损率为 6.49%, 比 2005 年下降了 0.72%, 低于 2007 年的英国 (7.4%)、澳大利亚 (7.5%)、俄罗斯 (11.85%), 接近美国 (6.38%)。

特高压技术在系统分析、工程设计、施工调试、主设备研制等多项关键技术和设备制造上取得重大突破并实际应用, 处于世界领先水平。

以先进电力电子技术为基础的直流输电、灵活交流输电技术装备实现国产化, 并达到国际先进水平。同塔双回、紧凑型线路、大截面耐热导线、大容量变压器、钢管塔等新技术、新成果得到广泛应用。2010 年, 云南至广东以及向家坝至上海 ±800kV 特高压直流输电工程建成投运, 将我国电网技术提升到新台阶。

智能电网工程试点项目取得积极进展, 确立了我国在智能电网领域的国际领先地位。

三、我国电力工业发展的指导思想及方针

电力工业发展的指导思想: 以科技创新为动力, 以转变电力发展方式为主线, 坚持节约优先, 优先开发水电, 优化发展煤电, 在确保安全的前提下稳妥发展核电, 积极推进新能源发电, 适度发展天然气集中发电, 因地制宜发展分布式发电, 加快推进坚强智能电网建设, 带动装备工业发展, 促进绿色和谐发展。

1. 电源建设

综合考虑多种因素, 经测算分析, 我国煤电基地煤电机组发电成本最低; 核电发电成本其次, 略低于负荷中心煤电机组发电成本; 目前水电发电成本较低, 考虑水电保护生态环境、安置移民等方面投资增加及输电费用提高等因素, 水电成本接近或略高于负荷中心煤电成本; 风电、太阳能、生物质能、天然气等发电成本远高于煤电、核电和水电。统筹未来十年和长远发展战略, 电源发展要坚持优先开发水电、优化发展煤电、在确保安全的前提下稳妥发展核电、积极推进新能源发电、适度发展天然气集中发电、因地制宜发展分布式发电的方针。

(1) 优先开发水电。加快开发、尽早开发完毕开发程度较高的长江上游、乌江、南盘江、红水河、黄河中上游及其北干流、湘西、闽浙赣和东北等 8 个水电基地, 重点布局开发金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、怒江、黄河上游干流、雅鲁藏布江等水电基地。重视境

外水电资源开发利用，重点开发缅甸伊江上游水电基地。

(2) 优化发展煤电。推行煤电一体化开发，加快建设大型煤电基地；鼓励发展热电联产；推进煤电绿色开发。以开发煤电基地为中心，重点建设山西（晋东南、晋中、晋北）、陕北、宁东、准格尔、鄂尔多斯、锡盟、呼盟、霍林河、宝清、哈密、准东、伊犁、淮南、彬长、陇东、贵州等 16 个大型煤电基地。

(3) 在确保安全的前提下，稳妥发展核电。发展核电要高度重视核电安全，强化核安全文化理念；坚持以我为主，明晰技术发展路线；统一技术标准体系，加快实现核电设备制造国产化；理顺核电发展体制，加快推进市场化、专业化进程；建立立足国内、面向国际的核燃料循环体系。

(4) 积极发展风电等可再生能源发电。风电开发实现大中小、分散与集中、陆地与海上开发相结合，通过风电开发和建设，促进风电技术进步和产业发展，实现风电设备制造自主化，尽快使风电具有市场竞争力。在“三北”（西北、华北北部和东北）地区发挥其资源优势，建设大型和特大型风电场。

促进发展太阳能发电，规划发电装机 2015 年达到 200 万 kW 左右，2020 年达到 2000 万 kW 左右。

因地制宜发展生物质能及其他可再生能源发电，2015 年和 2020 年生物质发电装机分别达到 300 万 kW 和 500 万 kW。2015 年和 2020 年地热和海洋能发电装机分别达到 1 万 kW 和 5 万 kW。

(5) 适度发展天然气集中发电。天然气（包括煤层气等）发电要实行大中小相结合；结合引进国外管道天然气和液化天然气在受端地区规划建设大型燃气机组，主要解决核电、风电、水电季节性电能对电网的调峰压力。在气源地规划建设燃气机组解决当地用电问题。2015 年和 2020 年，大型天然气发电规划容量分别为 3000 万 kW 和 4000 万 kW。

(6) 因地制宜发展分布式发电。结合城乡天然气管道布局规划建设分布式冷热电多联供机组。2015 年和 2020 年，天然气分布式发电装机分别达到 100 万 kW 左右和 300 万 kW 左右。在电网延伸供电不经济的地区，发挥当地资源优势，建设分布式发电系统。推动分布式发电和储能设施结合的分布式能源供应系统发展。

2. 电网建设

(1) 建设大型电源基地外送通道，构建坚强网架。在特高压交流试验示范工程的基础上，结合加快建设西部、北部大型煤电基地，西南水电基地，酒泉、蒙西、张北等大型风电基地以及未来大核电基地的接入系统，重点加快华北、华东、华中特高压交流同步电网建设。2015 年，华北、华东、华中特高压电网形成“三纵三横”主网架，锡盟、蒙西、张北、陕北能源基地通过三个纵向特高压交流通道向华北、华东、华中地区送电，北部煤电、西南水电通过三个横向特高压交流通道向华北、华中和长三角特高压环网送电。

2020 年，将建成以华北、华东、华中特高压同步电网为中心，东北特高压电网、西北 750kV 电网为送端，连接各大煤电基地、大水电基地、大核电基地、大可再生能源基地，各级电网协调发展的坚强智能电网。西北电网作为重要的送端电网，通过多方向、多通道、多落点的直流实现与华北、华东、华中特高压电网紧密相连。

南方电网在“十二五”期间，规划建设糯扎渡电站送电广东±800kV 特高压直流工程、溪洛渡电站送电广东同塔双回±500kV 直流工程和金沙江中游梨园、阿海电站送电广西直

流工程。2015年,西电东送主网架在2010年“五直八交”的基础上形成“九直八交”送电通道,各省(区)形成坚强的500kV骨干网架。配合海南核电,建设海南与广东联网二期工程,实现海南与南方主网500kV双回路联网。支持港澳特区绿色发展,结合香港调整优化电源结构、逐步关停燃煤火电,加强与港澳特区联网,保障港澳电力供应。

加强省级500(330)kV电网建设,建设坚强协调的省网主网架。

(2) 促进城乡电网协调发展。进一步加强各电压等级配电网建设,做到网架结构合理,运行灵活,电压层次简化,供电安全可靠。大部分城市形成220(或110)kV双环网架,500(或330)kV变电站深入城市负荷中心并形成500(或330)kV环网结构,实现500/220(或330/110)kV间电磁环网解环运行,中低压配电网具备“手拉手”环路供电或双电源供电。初步建成220kV电压等级为中心枢纽,110(66/35)kV电压等级为主网架的坚强农村配电网,县城中压配电网实现环网供电,电网整体供电能力、技术装备水平和可靠性进一步提高,满足农村地区经济社会发展和新农村建设用电需要。

(3) 推进电网智能化。我国电网智能化发展将以坚强网架为基础,以通信信息平台为支撑,以智能调控为手段,包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节,覆盖所有电压等级,实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化。

第二节 发电厂与变电站

发电厂是把各种天然能源,如燃料的化学能、水能、核能等转换成电能的工厂。由于电能生产是一种能量形态的转换,发电厂必须或需要建设在动力资源所在地,例如,水能资源集中在河流落差较大的山丘地区,热能资源则集中在盛产煤、石油、天然气的矿区,而大城市、大工业中心等用电单位则往往与动力资源所在地相距较远。也就是说,蕴藏动力资源的地区与电能用户之间往往隔有一定距离,为此就必须架设输电线路将电能送往负荷中心。

要实现大容量、远距离输送电能,还必须建设升压变电站和架设超高压输电线路。当电能输送到负荷中心后,必须经过降压变电站降压,再经过配电线路,才能向各类用户供电。随着生产的发展和用电量的增加,发电厂、输电线路、配电线路、升压变电站、降压变电站等数量都将不断增加。

当把一个个地理上分散、孤立运行的发电厂通过输电线路、变电站等相互连接形成一个“电”的网络以供给用户电能时,就形成了现代的电力系统。换句话说,这种由发电机、升压和降压变电站及用电设备通过输配电线路连接起来的整体,就称为电力系统。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)以及配套设施(如用热设备)等则称为动力系统。此外,电力系统中除电源外的由各电压等级的输配电线路、升压和降压变电站及其所属的电气设备所组成的部分称为电力网。

一、电力网分类

根据供电容量、供电范围以及电压等级的不同,电力网可分为地方电力网、区域电力网和超高压远距离输电网等三种类型。地方电力网是指电压为10、35kV,输电距离为几十公里以内的电力网,主要是城市、工矿区、农村等的配电网;区域电力网主要是110、220kV级的电力网,供电范围广、输电线路长、输送功率大;超高压远距离输电网主要由电压为330~1000kV的远距离输电线路组成,它担负着将远区发电厂的功率送往负荷中心的任务,同时还

往往联系几个区域电力网以形成跨省（区）、全国，甚至国与国之间的联合电力系统。

根据在电力系统中的不同作用，电力网可分为输电网和配电网。输电网是通过高压、超高压输电线将发电厂与变电站、变电站与变电站连接起来，完成电能传输的电力网络，是电力网中的主网架，电压等级通常在 110kV 及以上；配电网是从输电网或地区发电厂接受电能，通过配电设施（配电线路、配电站、配电变压器等）就地或逐级分配给用户的电力网，电压等级通常在 110kV 及以下。配电网按照电压等级可分为高压配电网（35~110kV）、中压配电网（6~20kV）和低压配电网（220/380V），按照地域服务对象可分为城市配电网和农村配电网，按照配电线路类型可分为架空配电网和电缆配电网。

二、发电厂类型

发电厂是电力系统的中心环节，为了便于了解电能的生产情况和电力系统的运行状态，下面对发电厂的类型作一些简单介绍。

发电厂按能源利用方式，可以分为火力发电厂、水力发电厂、核电厂、风电厂、太阳能电厂和其他类型发电厂。

发电厂按在系统中的地位和作用，可以分为主力电厂、地区电厂和企业自备电厂。主力电厂多为大型水电厂或凝汽式火电厂，担负主要供电任务；地区电厂和企业自备电厂属中小型电厂，多建在负荷中心附近或大型厂矿企业内，直接给该地区或该厂供电。

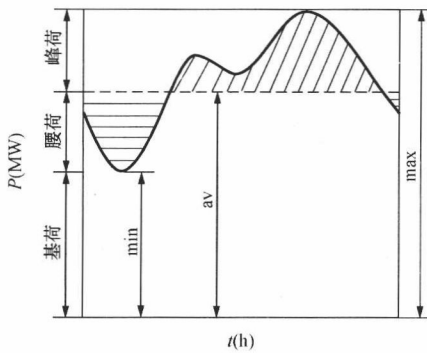


图 1-1 发电厂日负荷曲线

发电厂按照设备利用率的不同，可以分为基荷电厂、腰荷电厂和峰荷电厂。基荷电厂年利用小时数在 5000h 以上；腰荷电厂年利用小时数为 3000~5000h；峰荷电厂年利用小时数不到 3000h，如图 1-1 所示。

1. 火力发电厂

以煤炭、石油或天然气为燃料的发电厂称为火力发电厂。火力发电厂中的原动机大都为汽轮机，也有少数电厂采用柴油机和燃气轮机作为原动机。

根据火力发电的生产流程，其基本组成包括燃烧系统、汽水系统（燃气轮机发电和柴油机发电无

此系统，但这两种在火力发电中所占比重都不大）、电气系统、控制系统。

(1) 燃烧系统。火电厂燃烧系统流程如图 1-2 所示，主要由锅炉的燃烧室（即炉膛）、送风装置、送煤（或油、天然气）装置、灰渣排放装置等组成。主要功能是完成燃料的燃烧过程，将燃料所含能量以热能形式释放出来，用于加热锅炉里的水。主要流程有烟气流程、通风流程、排灰出渣流程等。对燃烧系统的基本要求是尽量做到完全燃烧，使锅炉效率 $\geq 90\%$ ；排灰符合标准规定。

(2) 汽水系统。火电厂汽水系统流程如图 1-3 所示，主要由给水泵、循环泵、给水加热器、凝汽器、除氧器、水冷壁及管道系统等组成。其功能是利用燃料的燃烧使水变成高温高压蒸汽，并使水进行循环。主要流程有汽水流程、补给水流程、冷却水流程等。对汽水系统的基本要求是汽水损失尽量少；尽可能利用抽汽加热凝结水，提高给水温度。

(3) 电气系统。电厂的电气系统流程如图 1-4 所示，主要由电厂主接线、汽轮发电机、主变压器、配电设备、开关设备、发电机引出线、厂用电接线、厂用变压器和电抗器、厂用

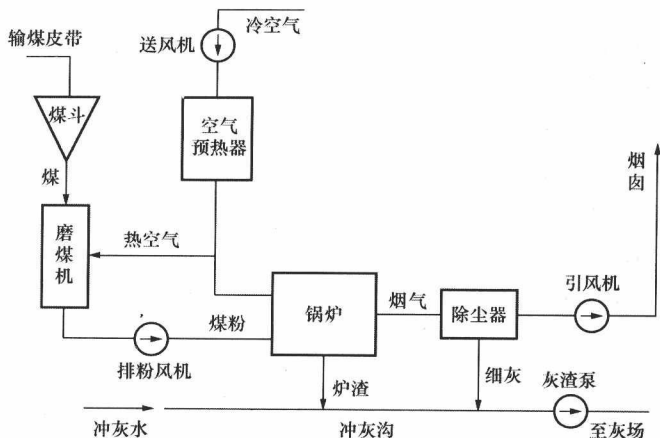


图 1-2 火电厂燃烧系统流程示意图

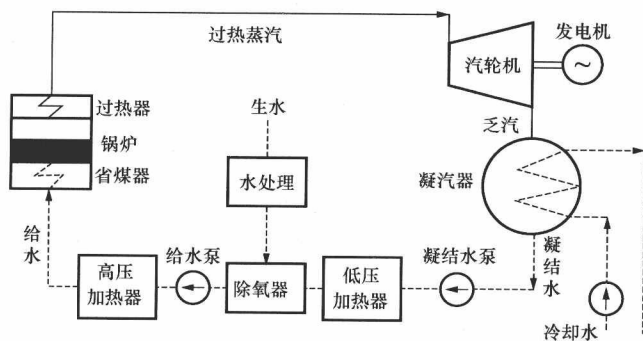


图 1-3 火电厂汽水系统流程示意图

电动机、保安电源、蓄电池直流系统及通信设备、照明设备等组成。基本功能是保证按电能质量要求向负荷或电力系统供电。主要流程包括变配电流程、厂用流程。对电气系统的基本要求是供电安全、可靠；调度灵活；具有良好的调整和操作功能，保证供电质量；能迅速切除故障，避免事故扩大。

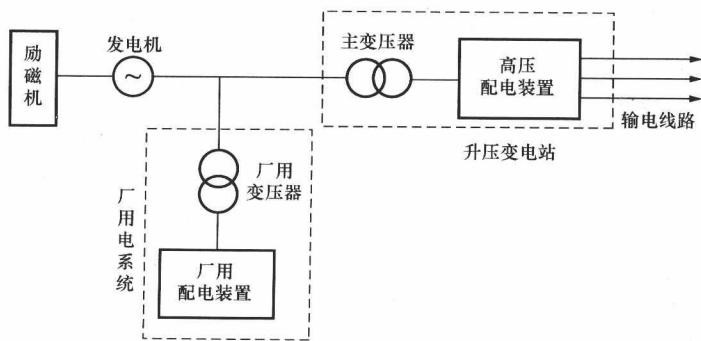


图 1-4 发电厂电气系统

(4) 控制系统。主要由锅炉及其辅机系统、汽轮机及其辅机系统、发电机及电气设备、附属系统组成。基本功能是对火电厂各生产环节实行自动化的调节、控制，以协调各部分的工况，使整个火电厂安全、合理、经济运行，降低劳动强度，提高生产率，遇有故障时能迅速、正确处理，以避免酿成事故。主要工作流程包括汽轮机的自启停、自动升速控制流程、锅炉的燃烧控制流程、灭火保护系统控制流程、热工测控流程、自动切除电气故障流程、排灰除渣自动化流程等。

火力发电厂按照燃料分为：

- 1) 燃煤发电厂，即以煤炭作为燃料的发电厂；
- 2) 燃油发电厂，即以石油为燃料的发电厂；
- 3) 燃气电厂，即以天然气、煤气等可燃气为燃料的发电厂；
- 4) 余热发电厂，即以工业企业的各种余热进行发电的发电厂。

火力发电厂按照蒸汽压力和温度分为：

- 1) 中低压发电厂，其蒸汽压力为 3.92MPa、温度为 450℃、单机功率小于 25MW；
- 2) 高压发电厂，其蒸汽压力为 9.9MPa、温度为 540℃、单机功率小于 100MW；
- 3) 超高压发电厂，其蒸汽压力为 13.83MPa、温度为 540℃、单机功率小于 200MW；
- 4) 亚临界压力发电厂，其蒸汽压力为 16.77MPa、温度为 540℃、单机功率为 300~1000MW；
- 5) 超临界压力发电厂，其蒸汽压力为 22.11MPa、温度为 550℃、单机功率为 600、800MW 以上；
- 6) 超超临界压力发电厂，其蒸汽压力为 26.25MPa、温度为 600℃、单机功率为 1000MW 以上。

火力发电厂按照电厂的输出能源可以分为凝汽式火电厂和供热式火力发电厂两类。

1) 凝汽式火电厂。凝汽式火电厂通常称为火电厂。在这类电厂中，锅炉产生蒸汽，经管道送到汽轮机，带动发电机发电。已作过功的蒸汽，排入凝汽器内冷却成水，又重新送回锅炉使用。凝汽式火电厂中的工质在发电过程中经历水—汽—水的反复循环，从而实现燃料的化学能—热能—机械能—电能的转换过程。由于在凝汽器中，大量的热量被循环水带走，故一般凝汽式火电厂的效率都很低，即使是现代的高温高压或超高温高压的凝汽式火电厂，效率也只有 30%~40%，宜建在燃料产地。

2) 供热式火力发电厂。供热式火力发电厂通常称为热电厂。热电厂通常都建在大城市及工业区的电、热用户附近。它除发电外，还向用户供热，这样可以减少被循环水带走的热量损失，提高总效率。它与凝汽式火电厂不同之处，主要在于汽轮机中一部分作过功的蒸汽，在中间段被抽出来供给热用户使用，或经热交换器将水加热后，供给用户热水。现代热电厂的总效率可高达 60%~70%，但运行方式不如凝汽式火电厂灵活，因为需要根据热需求调整出力。

火力发电厂按照原动机的不同分为凝汽式汽轮发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂和蒸汽—燃气轮机发电厂。以燃气轮机作为原动机的发电厂称为燃气轮机发电厂。燃气轮机与汽轮机工作原理相似，所不同的是燃气轮机的工质是高温高压的气体而不是蒸汽。这些作为工质的气体可以用清洁煤技术将煤炭转化成的清洁煤气，也可以是天然气等。另外，重要的大型厂矿企业往往建设专用电厂作为自备电源，这类电厂的原动机一般为小型汽轮机或柴油机。单独来看，这种发电厂的生产往往不经济，但它可起到后备保安作用，若能和其他

能源供应结合起来综合利用，其经济效益将有所提高。

2. 水力发电厂

水力发电厂是把水的势能和动能转变为电能的工厂。根据水力枢纽布置的不同，水力发电厂又可分为堤坝式、引水式等。

(1) 堤坝式水电站。在河床上游修建拦河坝，将水积蓄起来，形成水库，抬高上游水位形成发电水头，利用坝的上、下游水位较大的落差进行发电，这种水电站称为堤坝式水电站。通常，这类水电站又细分为坝后式水电站和河床式水电站两种。

1) 坝后式水电站。这种水电站的厂房建在坝的后面，全部水头压力由坝体承受，水库的水由压力水管引入厂房，推动水轮发电机组发电。坝后式水电站适合于高、中水头的场合，其布置情况如图 1-5 (a) 所示。

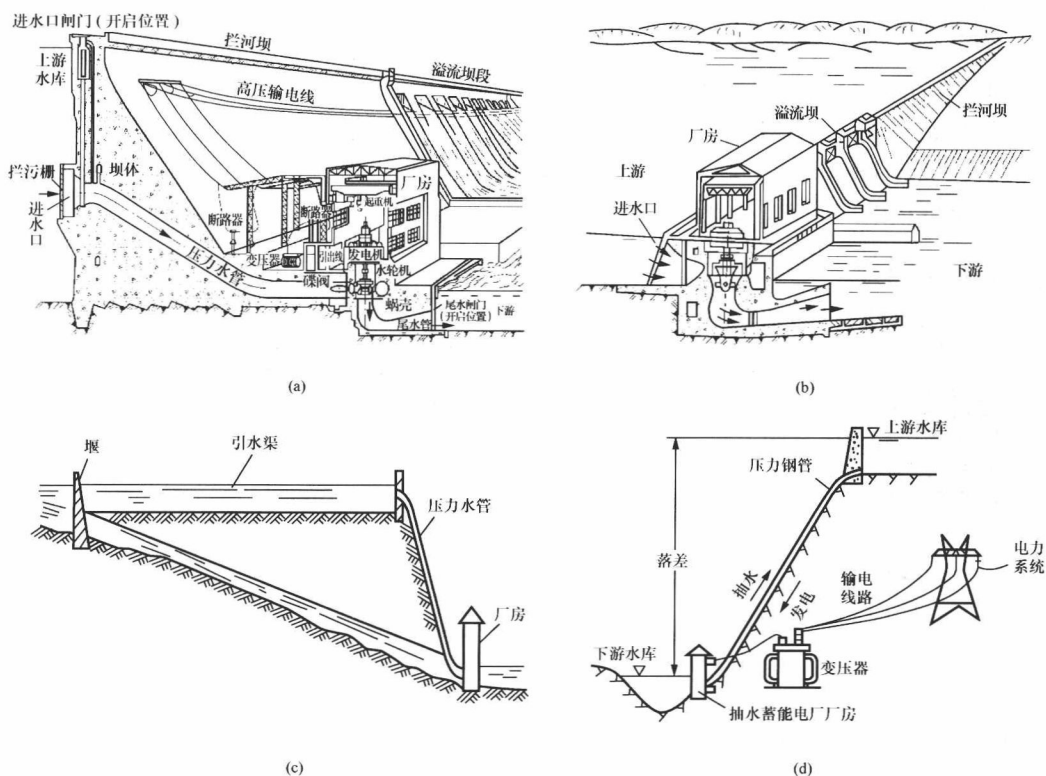


图 1-5 水电站的类型

(a) 坝后式水电站；(b) 河床式水电站；(c) 引水式水电站；(d) 抽水蓄能电站

2) 河床式水电站。这种水电站的厂房和挡水堤坝连成一体，厂房也起挡水作用，由于厂房就修建在河床中，故称河床式。河床式水电站的水头一般较低，大都在 20~30m 以下，其布置情况如图 1-5 (b) 所示。

(2) 引水式水电站。这种水电站建筑在山区水流湍急的河道上或河床坡度较陡的地段，由引水渠道提供水头，且一般不需要修筑堤坝，只修低堰即可，如图 1-5 (c) 所示。

与火力发电厂相比，水力发电厂的生产过程较简单，易于实现生产过程的自动化，检修工作量也较少，因此所需运行和检修人员较火力发电厂少得多。由于水力发电厂在运行中不

消耗燃料，其他运行支出也不多，所以年运行费用很少。因此，凡是有条件的地方，均应大力开发水电。

(3) 抽水蓄能电厂。这是一种特殊形式的水力发电厂，由高落差的上、下游水库和水轮机—发电机—抽水机的可逆机组构成，其布置情况如图 1-5 (d) 所示。抽水蓄能电厂可以实现对电能的调节，当系统处于低负荷运行时，电厂利用系统富余的电力将下游水库的水抽到上游水库中储存能量，此时机组按电动机—水泵方式工作；待电力系统处于高负荷、电力不足时，上游水库放水释放能量发电，此时机组按水轮机—发电机的方式工作。抽水蓄能电厂可以作调频、调相和系统的备用容量，一般可与发电出力较稳定的核电厂配合设置。

3. 核电厂

核电厂利用核裂变能转换为热能，再按火力发电厂的发电方式来发电。核能发电的基本原理是利用核燃料在反应堆内产生核裂变（即链式反应）释放出大量热能，由冷却剂（水或气体）带出，在蒸汽发生器中将水加热为蒸汽，然后与一般火电厂一样，用蒸汽推动汽轮机带动发电机发电。冷却剂在把热量传给水后，又被泵打回反应堆里去吸热，这样反复循环，不断地把核裂变释放的热能引导出来发电。核电厂与火电厂的主要区别是用核反应堆代替了蒸汽锅炉，1kg 核燃料铀 235 约等于 2700t 标准煤发出的电能。核电厂又可以分为压水堆核电厂和沸水堆核电厂两类，如图 1-6 所示。

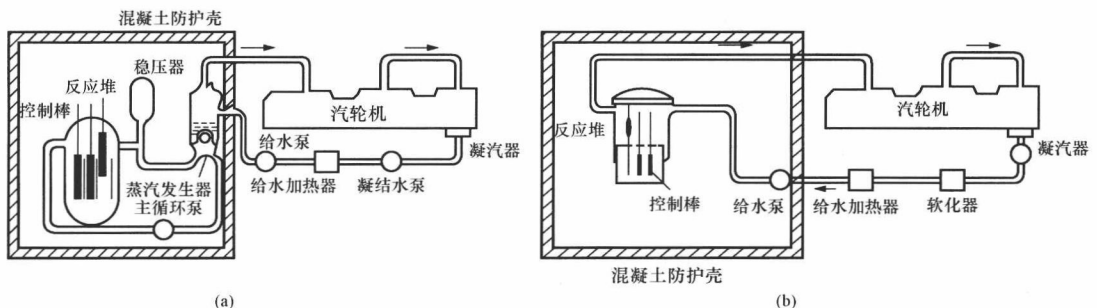


图 1-6 核电厂的类型
(a) 压水堆核电厂；(b) 沸水堆核电厂

4. 风力发电厂

风力发电厂简称风电厂，是利用风能来产生电力的发电厂，属于再生能源发电厂的一种。风能的产业化基础好，是目前世界上公认的可商业化的新能源技术之一，也是最有可能大规模发展的战略能源之一，位居非水电可再生能源之首，成为各国首选的能源发展重点。

常见的风力发电机主要结构有叶片、主发电机、塔架，除此之外，还具备自动迎风转向、叶片旋角控制及监控保护等部分。风力发电原理示意如图 1-7 所示。

运转的风速必须大于 2~4m/s（依发电机不同而有所差异），但是风速太强（约 25m/s）也不行。当风速达 10~16m/s 时，即达满载发电，根据风机类别的不同，IEC 标准对最大耐风速有不同规定，其中 I 类风机约为 70m/s，所以好的风场不但要一年四季吹风的日子多，风速的大小和稳定也很关键。由于每座风力发电机可独立运转，每座风力发电机均可视为单独的风力发电厂，故风力发电厂属于一种分布式发电系统。