



普通高等教育“十二五”规划教材
21世纪电力系统及其自动化规划教材

第2版

发电厂电气主系统

许珉 孙丰奇 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪电力系统及其自动化规划

- 电力系统工程基础
- 电力系统分析基础
- 电力系统暂态过程
- 电力系统继电保护
- 电力系统自动化
- 电力系统综合实验——原理与指导 第2版
- 电力系统调度运行与控制
- 电力系统规划与可靠性
- 高压直流输电原理与运行
- 现代电力企业管理
- 电力市场
- 电磁兼容原理、技术及应用
- 电能质量监控
- 发电厂电气主系统 第2版
- 分布式发电技术

策划编辑：贡克勤
封面设计：王伟光

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821

邮政编码：100037
网络服务
门户网：<http://www.cmpbook.com>
教材网：<http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-32807-0

定价：37.00元

ISBN 978-7-111-32807-0



9 787111 328070

普通高等教育“十二五”规划教材
21世纪电力系统及其自动化规划教材

发电厂电气主系统

第2版

许 珉 孙丰奇 编



机械工业出版社

本书着重讲述了发电厂和变电所电气主系统的有关基本理论和设计方法。主要内容有：导体的发热与电动力；主要电气设备的工作原理及选择计算方法；电气主接线、厂（所）用电及设计；配电装置；发电厂与变电所的二次接线；电力变压器和同步发电机的运行理论等。本书兼顾课程设计、毕业设计和工程实际设计的需要，结合变电所初步设计方案与丰富的图样在相应章节详细介绍了变电所电气一次部分的设计方法，以及支持式管形母线的选择计算与支持式管形母线配电装置。本书还根据二次接线的新发展，介绍了微机保护与监控装置中的断路器控制回路。本书的特点是：重点突出，层次分明，例题习题丰富，力求概念阐述准确、清楚，公式推演全面，易于讲授，便于自学，注重与工程实际结合，实用性强。章末附有思考题与习题，书后附有常用电气设备的技术参数和课程（毕业）设计任务书。

本书主要作为普通高等学校电气工程及其自动化、电力系统及其自动化及相关专业的本科教材，也可作为函授和高职高专教材，又可作为从事发电厂和变电所的电气设计、施工、运行、管理及相关工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

发电厂电气主系统/许珉等编. —2版. —北京：机械工业出版社，2011.1

普通高等教育“十二五”规划教材·21世纪电力系统及其自动化规划教材

ISBN 978-7-111-32807-0

I. ①发… II. ①许… III. ①发电厂—电气设备—高等学校—教材②电厂电气系统—高等学校—教材 IV. ①TM62

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第251104号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：贡克勤 责任编辑：贡克勤 责任校对：李秋荣

封面设计：王伟光 责任印制：乔宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2011年2月第2版第1次印刷

184mm×260mm·20.25印张·1插页·499千字

标准书号：ISBN 978-7-111-32807-0

定价：37.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：（010）88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：（010）68326294

销售二部：（010）88379649 教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者服务部：（010）68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是针对本科电气工程及其自动化、电力系统及其自动化专业编写的，可作为该专业《发电厂电气主系统》或《发电厂电气部分》课程的教学用书。本书根据电力工业的实际发展和教学的需要，在第1版的基础上进行了修订和完善，与第1版相比有以下特点：

1) 结合新技术的发展，介绍了电气主系统中新技术和新设备的应用。

2) 在全面讲述发电厂和变电所电气主系统的基本理论的基础上，注重讲述电气一次设计，增加了变电所电气一次设计内容，结合变电所初步设计方案与丰富的图样在相应章节详细介绍了变电所电气一次部分的设计方法，以满足课程设计和毕业设计的需要。

3) 介绍了配电装置的新发展，更新了配电装置的有关内容，力图使学生对配电装置有一个较完整的认识，可作为实习和课程设计等教学环节的参考。

4) 修订后的教材更易于自学，章末附有思考题与习题，修改了常用电气设备的技术参数，增加了课程（毕业）设计任务书。

本书由许珉任主编并统稿。其中，第一、四、十章，附录及第二章第二、三、四节和第八章第一、二、三、五节由孙丰奇编写；第三、五、六、七、九章，第二章第一节和第八章第四节由许珉编写。

本书编写过程中参阅了书末所列有关参考文献、国家标准、运行与设计技术规程和有关设计单位的工程图样与电气设备生产厂家等的技术资料，在此，一并表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中错误及不妥之处在所难免，恳请读者和同行批评指正。

作 者

21世纪电力系统及其自动化规划教材

编委会

主任委员：熊信银

副主任委员：尹项根 韩学山 李庚银 刘宪林

李扬 陈少华 贡克勤 杨德先 (兼秘书)

委员：(以姓氏笔划排序)

尹项根 毛承雄 车仁飞 文明浩 文劲宇

叶俊杰 刘学东 刘宪林 孙丰奇 许珉

李扬 李庚银 吴耀武 陆继明 张利

张波 杨国旺 杨宛辉 杨淑英 杨德先

陈卫 陈少华 罗毅 房俊龙 易长松

赵书强 赵玉林 赵丽平 娄素华 栗然

盛四清 常鲜戎 梁振光 韩学山 游志成

熊信银 魏萍

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 电力工业发展概况	1
第二节 发电厂和变电所的基本类型	5
第三节 发电厂和变电所电气设备简述	15
思考题与习题	16

第二章 开关电器和互感器的原理	17
第一节 开关电器	17
第二节 电流互感器	27
第三节 电压互感器	34
第四节 新型互感器简介	41
思考题与习题	42

第三章 电气主接线	43
第一节 对电气主接线的基本要求	43
第二节 电气主接线的基本接线形式	45
第三节 发电厂和变电所主变压器的选择	56
第四节 限制短路电流的方法	60
第五节 发电厂和变电所的典型电气主接线	63
第六节 电气主接线设计	67
第七节 电气主接线的可靠性计算	78
思考题与习题	83

第四章 厂（所）用电	85
第一节 概述	85
第二节 厂用电源及厂用电接线的基本形式	87
第三节 发电厂和变电所的厂（所）用电典型接线分析	91
第四节 厂（所）用变压器的选择	97
第五节 厂用电动机的选择和自启动校验	103
思考题与习题	111

第五章 导体的发热与电动力	112
第一节 概述	112
第二节 导体发热和散热的计算	113
第三节 导体的长期发热与载流量	116
第四节 导体的短时发热	119
第五节 导体短路的电动力	123
第六节 大电流封闭母线的发热和电动力	128
思考题与习题	133

第六章 电气设备的选择	135
第一节 电气设备选择的一般条件	135
第二节 导体与电缆的选择	139
第三节 支柱绝缘子与穿墙套管的选择	150
第四节 高压断路器和隔离开关的选择	152
第五节 高压熔断器的选择	154
第六节 限流电抗器的选择	155
第七节 互感器的选择	159
第八节 支持式管形母线的选择	165
思考题与习题	176

第七章 配电装置	178
第一节 概述	178
第二节 成套配电装置	182
第三节 屋内配电装置	187
第四节 屋外配电装置	198
第五节 发电机、变压器与配电装置的连接	211
第六节 发电厂和变电所的电气总平面布置	214
思考题与习题	221

第八章 发电厂与变电所的二次接线	222
------------------------	-----

VI

第一节	发电厂和变电所的控制方式	222	第六节	变压器的并列运行	266
第二节	电气二次接线图	224	思考题与习题		269
第三节	断路器控制回路	230	第十章 同步发电机的运行		271
第四节	微机保护与监控装置中的断路器控制回路	235	第一节	同步发电机的参数及其额定值	271
第五节	中央信号	239	第二节	同步发电机的正常运行	276
思考题与习题		244	第三节	同步发电机的特殊运行方式	281
第九章 电力变压器的运行		246	第四节	同步发电机的非正常运行方式	287
第一节	变压器的温升与温度计算	246	思考题与习题		291
第二节	变压器的绝缘老化	251	附录		292
第三节	变压器的正常过负荷	252	附录 A	常用电气设备的技术参数	292
第四节	变压器的事事故过负荷	256	附录 B	课程(毕业)设计任务书	311
第五节	自耦变压器的工作原理与运行	257	参考文献		316

第一章 绪 论

第一节 电力工业发展概况

电能是能量的一种表现形式，是现代社会中最方便、最洁净和最重要的能源。在工农业生产、交通运输以及城乡人民的日常生活等各个方面，广泛地使用着电能。电能有许多优点：第一，电能便于转换，在电能生产部门，可以方便地将其他形式的能源转换成电能，在电能使用部门，可方便地将电能转换成其他形式的能量。例如，通过电动机将电能转换成机械能，拖动各种机械设备；通过各种灯具将电能转换成光能，满足用户照明需要；通过电炉等设备将电能转换成热能，满足加热和熔炼需要。第二，电能通过输电线路可以远距离经济输送，供给远方用户使用。第三，电能便于控制，生产部门利用电能控制生产过程，容易实现自动化，能提高产品质量和企业的经济效益。第四，电能是洁净能源，不会对环境造成污染。

一、电力起源与发展简史

1600年，英国物理学家吉伯发现很多物质经摩擦后都具有吸引轻小物体的性质，把这种性质称为“电的”，并在实验过程中制作了第一只验电器。

1745年，荷兰莱顿的穆申布鲁克发明了能保存电能的莱顿瓶。

1747年美国的富兰克林根据实验提出：电荷可以流动，并得出了电荷守恒定律。他把摩擦时物体获得的电的多余部分叫做带正电，物体失去电而不足的部分叫做带负电。

1752年美国的富兰克林通过在雷雨天气将风筝放入云层，进行雷击实验，证明了雷闪就是放电现象。他建议用避雷针来防护建筑物免遭雷击。

1799年，意大利物理学家伏特发明制造了第一个能产生持续电流的化学电池，叫做伏特电堆。戴维利用电池组制成了碳极电弧，作为灯塔、剧院等场所使用的强烈光电源。

1822年，塞贝克研究发现，将铜线和一根别种金属（铋）线连成回路，并维持两个接头的不同温度，也可获得微弱而持续的电流，提出了热电效应。

1826年，欧姆使用热电动势做实验，得到电路中的电流与他所谓的电源的“验电力”成正比，比例系数为电路的电阻，即发现了欧姆定律。

1831年，英国物理学家法拉第通过试验发现了电磁感应现象。

1866年西门子发明了可供实用的自励直流发电机。

1879年，爱迪生发明了白炽灯。

1880年至1882年间，爱迪生公司设计制成了当时世界上容量最大的直流发电机，并在纽约建立了第一座直流发电厂，建成了第一个民用直流照明系统。

1880年，尼古拉·特斯拉发明了世界上第一台交流电发电机。

1883年，尼古拉·特斯拉制造了第一个感应电机模型。

1888年，尼古拉·特斯拉制造生产了交流电发电机、变压器等设备，并成功地建成了

一个交流电电力传送系统。

1889年，使用特斯拉的专利，美国西屋电气公司在俄勒冈州建设了发电厂。

1896年，特斯拉的交流发电机在尼亚加拉水力发电厂开始营运，容量3750kW，电压5000V的交流电一直送到40公里外的布法罗市。

生产的发展对输送功率和输送距离有了新的要求，以致直流输电系统已不能适应发展的需要，由于三相交流电系统可以通过变压器升降电压，可以远距离地经济输送，所以交流电系统取代了直流电系统，并得到了快速发展。

1900年，美国西屋电气公司制造出世界第一台汽轮发电机。

1955年，美国西屋电气公司试制成功超临界、二次再热汽轮发电机。

1957年，美国西屋电气公司建成了第一座商用核电站。

随着生产技术的发展，科学的进步，电气设备的制造水平和性能指标越来越高，发电厂之间相互连接，构成了越来越大的电力系统。

目前，世界上最大的汽轮发电机单机容量达到150万kW，水轮发电机单机容量达到70万kW，交流系统最高电压等级为1150kV，最高直流输电线路电压等级为 ± 800 kV。

二、我国电力工业发展概况

1882年7月26日，上海首次试燃15盏电灯，进入了全世界第一批使用电灯的城市行列。1888年，清政府从欧洲购进了西门子公司生产的发电机组（直流，功率11.76kW），在宫廷发电，清廷皇宫里第一次安装了电灯，不久北京城区也有了电力照明。

自从1882年有电力以来至1949年，经过67年发展，我国装机总容量只达到185万kW，年发电量43亿kW·h，分别居世界第21位和第25位。

新中国成立以后，我国电力工业以世界罕见的速度向前发展。目前，比较完备的电力工业体系已经基本建立，技术装备水平正在逐步提高。除去我国台湾和港、澳地区外，已经形成华北（北京、天津、山西、河北及部分内蒙）、东北（东北三省及部分内蒙）、华东（上海、江苏、浙江、安徽）、华中（河南、湖北、湖南、江西）、西北（陕西、甘肃、青海、宁夏）、川渝（四川、重庆）和南方联营（广东、广西、云南、贵州）7个跨省区电网，以及山东、福建、海南、新疆和西藏5个独立的省级电网，跨省、跨大区电网的互联正在逐步实现。1981年我国建成第一条500kV输电线路（全长595km的河南平顶山姚孟电厂—武汉），目前，除西北电网主网架电压等级为330kV外，其他跨省电网和山东电网已建成500kV主网架。全长146km的青海官亭—兰州东750kV输变电示范工程在2005年10月投运，它是世界海拔最高的输变电工程。全长654km的晋东南—南阳—荆门1000kV特高压交流输变电示范工程在2009年1月通电试运行，导线采用 $8 \times \text{LGJ-500/35}$ 钢芯铝绞线，自然输送功率为500万kW，其中晋东南1000kV变电站装有一组 $3 \times 1000\text{MV} \cdot \text{A}$ 自耦变压器，额定电压为 $1050/525 \pm 5 \times 1.25\% / 110\text{kV}$ ，最终容量为3组共 $9 \times 1000\text{MV} \cdot \text{A}$ ，1000kV采用双母线双断路器接线；荆门1000kV变电站装有一组 $3 \times 1000\text{MV} \cdot \text{A}$ 自耦变压器，额定电压为 $1050/525 \pm 5 \times 1.25\% / 110\text{kV}$ ，最终容量为两组共 $6 \times 1000\text{MV} \cdot \text{A}$ ，1000kV也采用双母线双断路器接线；南阳设1000kV开关站，采用双母线双断路器接线，配置的并联高压电抗器容量为 $3 \times 240\text{Mvar}$ 两组，以吸收线路的容性充电无功功率。线路全长1300多km，电压为 $\pm 800\text{kV}$ 的世界第一条特高压直流输电线路（云南—广东）建成投运，这些都标志着我国

已经进入世界最高电压等级国家的行列。2009 年全国总装机容量达到 8 亿 kW，年发电量为 40000 亿 kW·h。从 1996 年起，我国发电机装机容量和年发电量均居世界第二位，仅次于美国。

至 2009 年底，我国最大的汽轮发电机组容量为 100 万 kW，已在数座发电厂投产运行；最大的水轮发电机组容量为 70 万 kW，安装在三峡水力发电厂；最大的核电机组容量为 100 万 kW，安装在岭澳核电厂。目前我国最大的火力发电厂是国电北仑电厂，装机容量 500 万 kW，其中两台机组单机容量 100 万 kW；最大的水力发电厂是三峡水力发电厂，总装机 32 台，总装机容量 2240 万 kW（其中地下电厂 6 台），单机容量 70 万 kW；我国最大的核能发电厂是岭澳核电厂，装机容量 2×100 万 kW；最大的抽水蓄能电厂是广州抽水蓄能电厂，装机容量 8×30 万 kW。这些也说明我国电力工业已进入大机组、大电厂、大电网、特高压、高度自动化的发展时期和全国联网的新阶段。我国目前主要的大型电网公司有：国家电网公司和南方电网公司，主要的大型发电公司有中国华能集团公司（华能国际）、中国华电集团公司（华电国际）、中国大唐集团公司（大唐发电）、中国国电集团公司（国电电力）、中国电力投资集团公司（中电投）等。

三、今后我国电力工业的发展

电力工业的发展建设与能源工业的发展政策关系密切，能源开发要以电力为中心。电力工业的发展要与我国国民经济的发展相适应，协调发展。节能减排，绿色环保，大力发展水电，有计划地建设大型火电基地，开发清洁煤发电技术，有重点有步骤地建设核电，优化发电电源结构，开发环保绿色发电能源，发展智能电网和大型联合电力系统，开发与节约并重。

1. 充分开发水电

水力资源是一种便宜且绿色的用之不竭的可再生能源。我国水力资源丰富，河流水能资源技术可开发装机容量为 4.93 亿 kW，经济可开发装机容量为 3.95 亿 kW，是世界上水力资源比较丰富的国家。至 2010 年我国的水电装机容量约为 1.5 亿 kW，水电装机容量超过美国居世界第一。我国目前已开发的水电约为经济可开发资源的 37%，水电的发展潜力还很大。水力资源是一种不利用便浪费的资源，现在我国有了一定的经济实力，为大力开发水电奠定了坚实的基础。水力发电不用燃料，成本低，不污染环境。今后，我国水电开发的基本思路为：主要开发调节性能好、水能指标优越的大型水电站并因地制宜开发中小型水电站；重点开发黄河上游、长江中上游、红水河、澜沧江中下游和乌江等流域，在一些小河流进行连续梯级开发；有选择地开发抽水蓄能水电站，以满足电网的调峰要求。

2. 建设大型火电基地

我国有丰富的煤炭资源，储量约 7000 亿 t。在我国的电源结构中，现在火电设备容量约占总装机容量的 70%，由于火电项目建设周期短，建设投资相对较少，我国煤炭的储量又较大，所以在今后一段时期内，火电建设仍然是主要的。尽管我国有丰富的煤炭资源，但煤炭的用途非常广泛，煤炭是工业的粮食，尤其对于化工工业；煤炭也是人们日常生活不可缺少的资源，节约煤炭资源将造福子孙后代。为了节约用煤，提高煤炭的利用效率，我国火电建设的重点是：采用高参数、大容量、高效率、高调节性、节水型，以单机容量 600MW 以上为主的大型机组，建设矿口电厂，建设煤炭基地的电站群，改送煤为送电，减轻对运输的

压力；鼓励热电联产，以提高能源综合利用率。还有，燃煤电厂是二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、二氧化碳（CO₂）和粉尘物等大气污染源之一。燃煤产生的 SO₂ 将引起酸雨，腐蚀材料，毁坏庄稼；燃煤产生的 CO₂，将引起温室效应，使全球气候变暖，导致全球气候变化异常，冰山融化，地球陆地变小，威胁人类未来的生存；燃煤产生的 NO_x，会破坏臭氧层，造成紫外线对地面生物的强烈辐射，危害生物。所以要注重环境保护，关停效率低、环保不达标的中小火电机组，同时在煤电生产过程中大力开发清洁煤发电技术和采取脱硫措施，以减轻对环境的污染。

3. 积极发展核电

核电是一种可供长期使用的清洁能源。一个 1000MW 的火电厂一天要燃烧 9600t 标准煤，而相应 1000MW 的核电厂，一天只要 3.3kg 的铀-235。煤炭资源是有限的，煤炭的用途又十分广泛，目前核电技术已经成熟，可大规模建设核电厂以替代燃煤火电厂的建设，这样既可节约煤炭又减少了对大气环境的污染。

4. 加大新能源发电的开发力度

新能源发电是指利用太阳能、风能、地热能、潮汐能及生物质能等绿色能源发电。新能源是可再生能源，在电能的生产过程中不产生或很少排放对环境有害的废气和污染废物。我国新能源资源十分丰富，要加大新能源发电的开发力度，这也是世界各国共同的发展趋势。

太阳能是太阳向宇宙空间发射的辐射能，到达地球表面的太阳能约为 8.2×10^9 万 kW，太阳辐射功率密度为 1000W/m² 左右。我国每年接受的太阳辐射能约相当于 24000 亿 t 标准煤，若将其千分之一转换为电能，就能满足我国电力用户的用电需求。太阳能是取之不尽，用之不竭的清洁能源。

风力资源也是一种取之不尽，又不会产生任何污染的可再生能源和过程性的能源。在新能源发电中，风力发电在技术上比较成熟，并具备了进行较大规模开发的条件。初步估计，地球上的风能资源约为每年 200 万亿 kW·h，仅 1% 的地面风力，就能满足全世界对能量的需求。我国风力资源丰富，实际可开发利用的风能资源储量为 2.53 亿 kW。目前，在我国 0.1~5kW 的小型风力发电机组已形成生产规模，全国风电总装机容量约达到 500 万 kW。风力发电正向大型化发展，国外最大的风力发电机单机容量已达 3000kW，大型化的优点是可以降低单位发电量的投资。

垃圾发电与生物质能发电。用城市大量的垃圾发电，既可充分利用能源，又可减轻环境的污染，在今后的电力发展中应予以重视。生物质能发电是利用农田秸秆等物质发电，我国的秸秆数量是非常庞大的，这样既增加了农民的经济收入，也避免了焚烧秸秆对大气的污染。

5. 发展全国性联合电力网

我们知道，电力系统愈大，电能质量越好。实际上，发展联合电力系统，实现全国联网运行，有很大的优越性，很多问题都可以迎刃而解。

建设联合电力系统，将大大有利于优化电网的电源结构，有利于实现“西电东送”和“北电南送”，可以充分利用水能与核能，实现水电、核电与火电互补，尽量多发水电和核电，尽量少发火电，减少燃煤消耗，节约煤碳资源，降低二氧化碳 CO₂、烟尘等有害气体的排放，减轻环境污染。同时也实现了电网的经济运行。

建设联合电力系统，由于网内各部分之间地理位置、负荷特性和人们的生活习惯等情况

的不同，利用时差，错开高峰用电，从而减小系统的高峰负荷数值，减少系统内的发电机装机容量，降低电力系统的建设投资。由于网内各部分之间的备用容量可以相互支援，可减少电网的备用容量，也相应降低了电网的建设投资，同时提高了电网运行和供电的可靠性。

我国联合电力系统发展的基本思路和实施的步骤是：一是要以三峡电网为中心，推进全国联网；二是要配合大型水电站和火电基地的建设，发展特高压电网，进一步加大“西电东送”和“北电南送”的力度，实现以送电为主的“送电型”联网；三是在不断加强各大区自身电网结构的基础上，在适当的时机和地点按照互惠互利的原则，采用交流或直流，实现以联网效益为主的“效益型”联网，并把“送电型”联网与“效益型”联网有机地结合起来，把全国联网与加强各地区电网自身网架的建设结合起来，最后推进全国联网的形成和发展。

6. 开发和节约并重

在开发能源的同时，还必须节约能源。在能源开发方面，发展热电联产，气、热、电、冷联产新技术，以及推广采用超临界机组、联合循环机组等新技术；彻底退役低效、高耗、高污染的中小型凝汽式机组和超期服役机组，提高火电机组的热效率，提高能源开发效率。在用电方面，牢固树立节约资源的观念，加强电力需求侧管理，通过节能政策引导，让人们在生产和生活中养成节能意识，形成节能习惯，人人为节能减排做贡献，建设资源节约型国民经济体系和资源节约型社会。

第二节 发电厂和变电所的基本类型

电能不能大量储存，电能生产的特点是，发电、输电、变电、配电和用电是在同一瞬间完成的，即发电厂生产电能和用户消耗电能是同时完成的。大部分大型发电厂都远离用户，发电厂生产的电能需要经过变压器升压和高压输电线路远距离输送，再经过降压变电所若干次降压后用户才可使用。发电厂、输电线路、变电所、配电线路和用户构成了一个整体——电力系统。

一、发电厂的基本类型

发电厂是把各种一次能源，如燃料的化学能、水能、核能、风能、太阳能和其他能源转换成二次能源——电能的工厂。按照发电厂所消耗一次能源的不同，发电厂有：

1. 火力发电厂

以煤炭、石油、天然气等为燃料的发电厂称为火力发电厂。火力发电厂按其工作情况的不同又可以分为以下几类：

(1) 凝汽式火力发电厂 凝汽式火力发电厂中，煤粉（或石油、天然气等）在锅炉的炉膛里燃烧时将化学能转换成热能，加热锅炉里的软化水产生蒸汽，蒸汽通过管道送到汽轮机，推动汽轮机旋转，将热能转换成机械能。汽轮机带动发电机旋转，再将机械能转换成电能。凝汽式火力发电厂的生产过程如图 1-1 所示。

煤从储煤场由输煤传送带运送到锅炉房的原煤斗中，继而送入磨煤机被磨成煤粉。煤粉由热空气输送，经喷燃器进入锅炉炉膛（燃烧室）内燃烧。空气经送风机进入空气预热器加热为热空气，其中一部分热空气进入磨煤机以干燥和输送煤粉，另一部分热空气进入锅炉

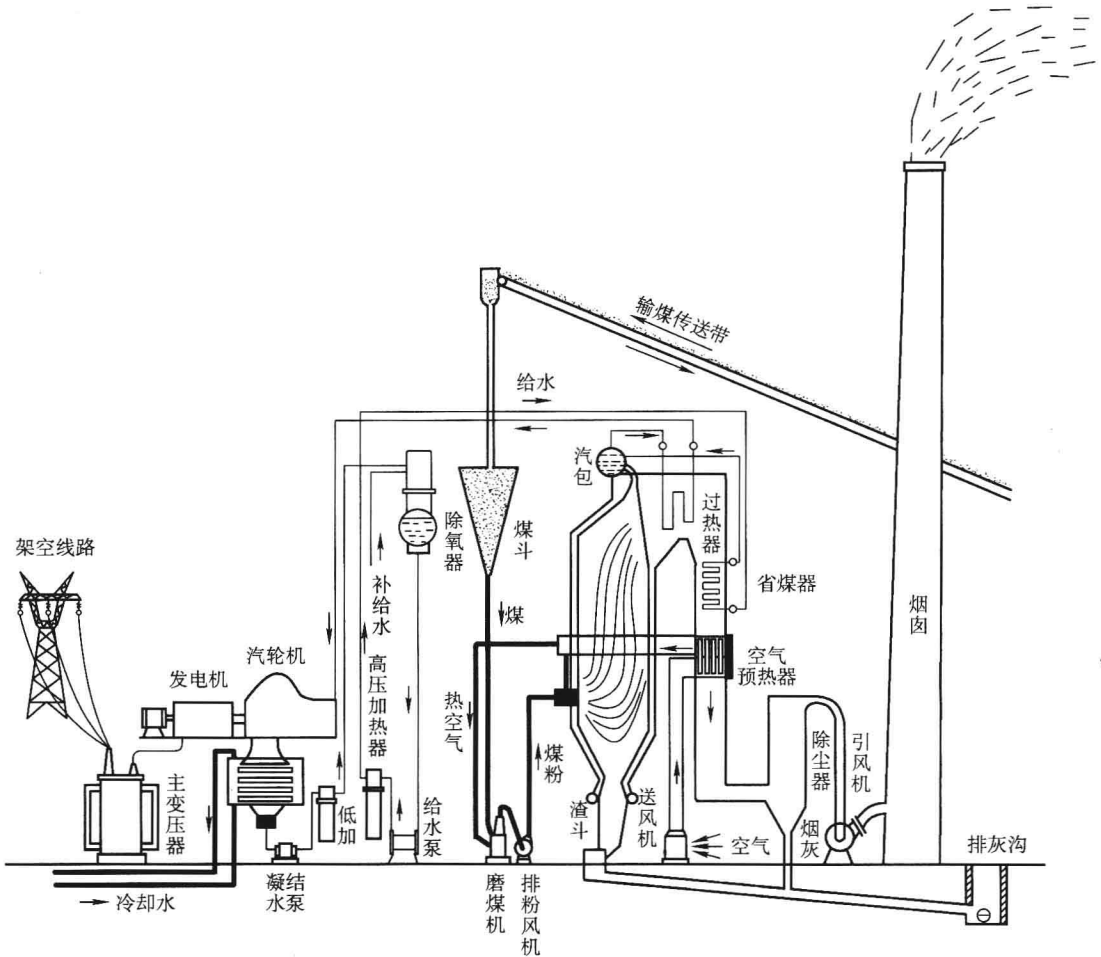


图 1-1 凝汽式火力发电厂的生产过程

燃烧室助燃。在燃烧室内，燃料着火燃烧放出热量，其热量加热燃烧室四周水冷壁内的软化水成为饱和水和蒸汽。当炉膛烟气通过水平烟道内的过热器和尾部烟道内安置的省煤器和空气预热器时，继续把热量传给蒸汽、水和空气。尾部烟道底部的低温烟气经除尘器除去飞灰，通过引风机从烟囱排入大气。燃料在炉膛内燃烧后落入锅炉底部的灰渣和除尘器下部排出的细灰，用高压水将其冲到灰渣泵房，经灰渣泵排至储灰场。

经化学处理过的软化水在水冷壁管内受热产生的蒸汽，流经过热器时进一步吸收水平烟道烟气的热量而变成过热蒸汽，过热蒸汽通过主蒸汽管道进入汽轮机膨胀做功，推动汽轮机的转子旋转，将热能转换成机械能。汽轮机带动发电机旋转，将机械能转变为电能。在汽轮机内做过功的乏汽从尾部排出进入凝汽器，在凝汽器内被冷却成水，凝结水通过凝结水泵经由低压加热器加热后进入除氧器。除氧后的水由给水泵打入高压加热器加热，进一步提高温度后再次送入锅炉，循环使用。

循环水系统的冷却水经循环水泵打入凝汽器的循环水水管中，吸收汽轮机排出乏汽的热量后，经排水管排出，将热量带走。由于在凝汽器中，大量的热量被循环水带走，故一般凝汽式火力发电厂的效率都比较低，即使是现代高温高压或超高温高压的凝汽式火力发电厂，

效率也只有 30% ~ 40%。

(2) 热电厂 热电厂除了发电以外，还向用户供热。它与凝汽式火力发电厂不同之处主要是从汽轮机中间段抽出一部分做过功的蒸汽供给热用户使用，或经热交换器将水加热后，供给用户热水。这样，可以减少被循环水带走的热量损失，提高总效率。热电厂的总效率可达到 60% ~ 70%。

(3) 燃气轮机发电厂 燃气轮机发电厂中的燃气轮机与凝汽式火力发电厂的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），进入燃气轮机的燃烧室中燃烧做功。

由图 1-2 可见，燃气轮机的工作过程是，空气被压气机连续地吸入和压缩，压力升高后流入燃烧室与清洁煤气混合成高温燃气，燃烧产生的高温高压气体进入燃气轮机中膨胀做功，燃气轮机再带动发电机发电，做功后的气体的压力降低排出。这种单纯用燃气轮机驱动发电机的电厂的热效率只有 35% ~ 40%。因为燃气轮机循环的工质最高温度比蒸汽动力循环高，它最后的排出温度还很高，为提高效率，再采用燃气—蒸汽联合循环系统，即燃气轮机的热排气进入余热锅炉，加热锅炉中的水产生高温高压蒸汽，送蒸汽到汽轮机中去做功，从而带动发电机再次发电。联合循环系统的热效率可达 56% ~ 85%。

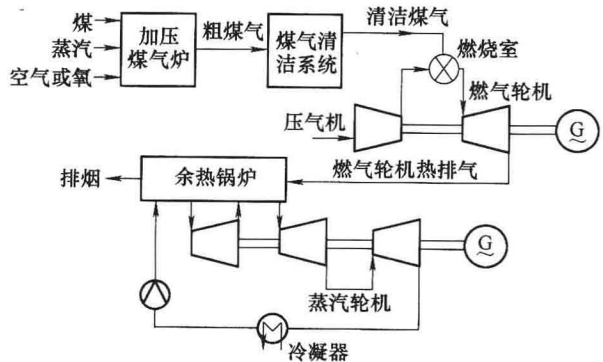


图 1-2 整体煤气化联合循环 (IGCC) 基本流程图

上述生产过程中，煤的气化过程需要空气和蒸汽，在联合循环中空气可以从燃气轮机的压气机中抽气供给，蒸汽可以从汽轮机或锅炉中抽气供给，这样就把煤的气化与联合循环的主要部件组成一个有机整体，故称为整体煤气化联合循环。采用清洁煤技术的整体煤气化联合循环 (IGCC) 电站，对提高发电厂的效率和环境保护，无疑意义是巨大的。

2. 水力发电厂

水力发电厂是将水的位能和动能转换成电能的工厂，也称水电站。根据水利枢纽布置的不同，水电站的类型可以分为坝后式、引水式和混合式等。

(1) 坝后式水电站 由于水的位能和动能是与水流量及水的落差（也称为水头）成正比的，它直接影响到水电站的总装机容量。在水流量一定的情况下，要提高水电站的总装机容量必须提高水头。但是许多河流水位的落差沿河流是分散的，为提高落差就需要在河流的上游修建堤坝蓄水，提高水头，进行发电。这种水电站就叫做坝后式水电站，通常这类水电站又细分为堤后式和河床式两种。

1) 堤后式水电站 这种水电站的厂房建在坝后，全部水头的压力由坝体承受，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 1-3 所示。著名的三峡水电站就是采用坝后式的布置方式。

2) 河床式水电站。这种水电站的厂房和挡水坝连成一体，厂房也起挡水作用。由于厂

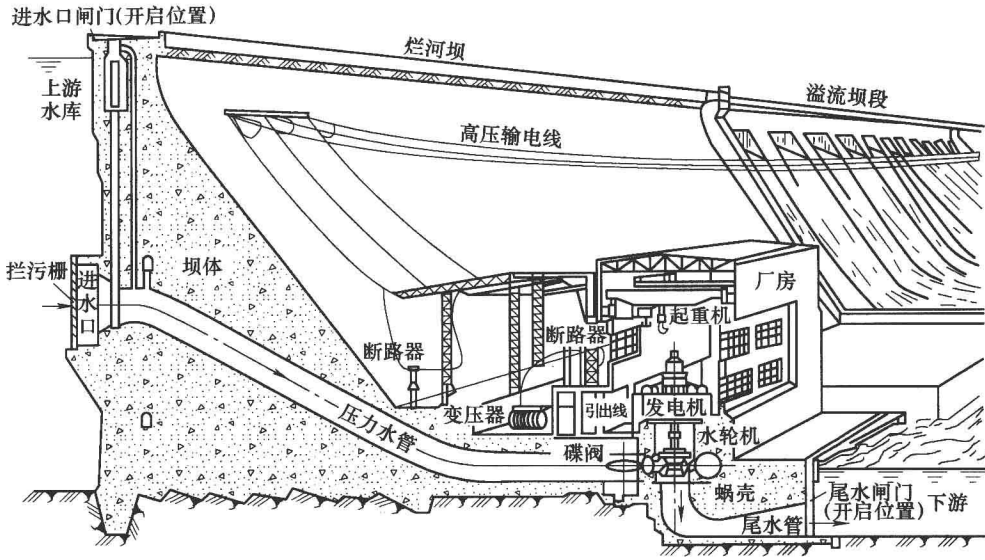


图 1-3 坝后式水电站示意图

房修建在河床中，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 1-4 所示。葛洲坝水电站采用的是河床式布置方式。

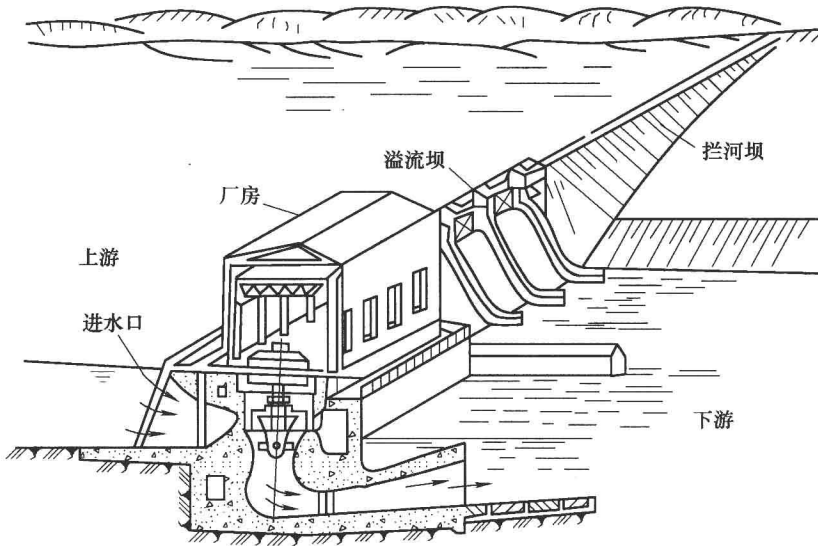


图 1-4 河床式水电站示意图

(2) 引水式水电站 这种水电站建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，一般不需要修建堤坝，或只修低堰，适用于水头比较高的情况。其布置情况如图 1-5 所示。

(3) 混合式水电站 这种类型的水电站是在适合开发的河段拦河筑坝，坝上游河段的落差由坝积蓄，而压力引水道集中坝下游河段的落差，水电站的水头是这两部分落差之和。这就是混合开发模式，而由这种集中落差方式修建的水电站称为混合式水电站，它具有堤坝

式和引水式两种水电站的特点。

3. 抽水蓄能电站

抽水蓄能电站示意图如图 1-6 所示，它有上水库和下水库两个水库，装设具有“水轮机—发电机”和“电动机—水泵”两种可逆工作方式的机组。在夜晚或周末负荷低谷期间，电站的机组作为“电动机—水泵”方式运行，利用电力系统富余的电能将下水库的水抽到上水库，以位能的形式将电能储存起来，这是目前可以人工大量储蓄能源的重要方式。在电力系统的峰荷期间，机组作为“水轮机—发电机”方式运行，将上水库的水放下来发电，用以担任电力系统峰荷中的尖峰部分，即起到调峰和调频作用。

由于抽水蓄能电站的机组具有两种可逆的工作方式，而且具有起停灵活、迅速、跟踪负荷变化的能力强等特点，故它还可以为系统提供紧急事故备用和调相等功能。目前发达国家抽水蓄能电站发展越来越快，美国、日本抽水蓄能电站的总装机容量已经超过了 2000 万 kW，据不完全统计，世界抽水蓄能电站总容量超过了 1 亿 kW。

4. 核电厂

核电厂的生产过程与火电厂相似，把火电厂的锅炉换成核反应堆就成了核电厂，核电厂的核心设备就是核反应堆。核反应堆中的核原料铀-235 的原子核，在中子的轰击下会产生裂变反应，而释放出热能。铀-235 的原子核在裂变的同时还能放出中子，利用裂变产生的高速高能中子引起原子核裂变的核反应堆，称为快中子反应堆或增殖堆，这种反应堆效率高但技术难度大。将核裂变产生的快速中子用慢化剂减速后的低速中子（热中子）撞击原子核产生裂变的反应堆，称为热中子反应堆（热核反应堆），当前普遍应用的是热核反应堆。由于一个原子核裂变过程中放出的中子多于两个，当反应堆维持在某一个功率水平运行时，裂变数也应该处于一个平衡值，此时每次裂变所产生的中子，只要一个参与再裂变就行了，否则过多的中子将使反应堆里的能量释放太快，若不加控制会产生像核爆炸那样的危险效果。因此，多余的中子必须用反应堆中的控制棒加以吸收，即实现可控核裂变链式反应。

能够使中子有效减速的材料叫慢化剂，目前适合做慢化剂的材料有普通的纯净水、重水和石墨等介质。

根据所使用的慢化剂和冷却剂，核反应堆可分为轻水堆、重水堆、石墨气冷堆、石墨沸水堆与液态金属冷却快中子堆数种，目前使用最多的是以普通水（也叫轻水）作为慢化剂

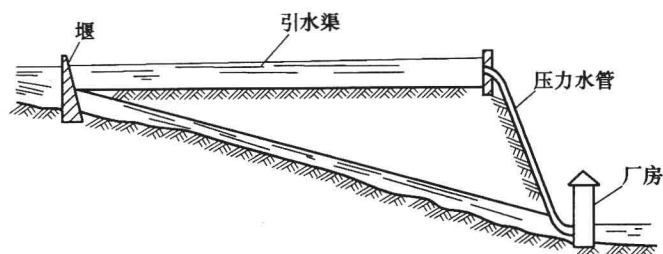


图 1-5 引水式水电站示意图

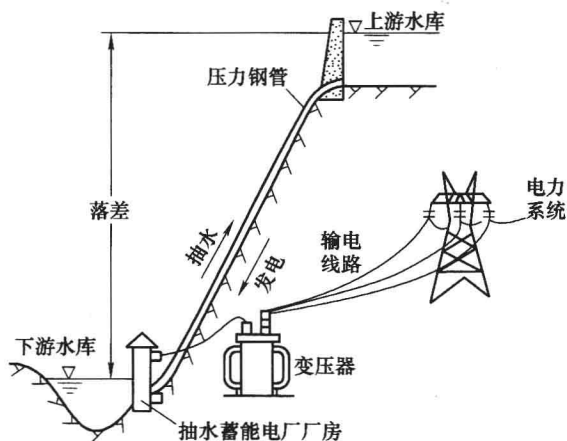


图 1-6 抽水蓄能电站示意图