




教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目

# 发电厂及变电站 电气设备

赵艳雷 张正团 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目

# 发电厂及变电站电气设备

主 编 赵艳雷 张正团  
副主编 黄桂春 聂 兵

常州大学图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本书共分八个项目, 主要包括: 发电厂及变电站基本认知, 电气主系统设计与运行, 发电厂及变电站自用电力系统运行, 载流导体与绝缘子运行, 高压开关电器运行, 互感器运行, 电气安装识图, 发电厂和变电站监控。

本书采用理实一体化(工作过程系统化)教学方法, 重点培养学生电气主接线设计选择, 电气一次设备的选择、运行异常和故障检修, 电气安装图的识绘, 电气二次回路的安装接线等专业能力。在内容选择上, 以岗位分析为基础, 以课程标准为依据, 以能力培养为核心, 引入国家标准、行业标准和职业规范, 科学合理地设计任务或项目, 通过项目化(工作过程系统化)教学手段, 在有限的教学时间内, 让学生掌握发电厂及电力系统设计、运行、检修、安装调试等岗位所需的职业基本技能, 具备分析问题、解决问题的能力。

本书主要用于职教师资本科电气工程及其自动化专业, 也可以作为电气工程技术人员参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

发电厂及变电站电气设备/赵艳雷, 张正团主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 8

教育部财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目  
ISBN 978-7-111-56785-1

I. ①发… II. ①赵… ②张… III. ①发电厂-电气设备-师资培训-教材②变电所-电气设备-师资培训-教材 IV. ①TM62②TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 099866 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: 王雅新 责任编辑: 王雅新 张利萍 王小东

责任校对: 刘志文 封面设计: 马精明

责任印制: 李 飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·437 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56785-1

定价: 39.80 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面防伪标均为盗版

## 出版说明

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》颁布实施以来，我国职业教育进入加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育，实现职业教育改革发展新跨越，对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此，教育部明确提出，要以推动教师专业化为引领，以加强“双师型”教师队伍建设为重点，以创新制度和机制为动力，以完善培养培训体系为保障，以实施素质提高计划为抓手，统筹规划，突出重点，改革创新，狠抓落实，切实提升职业院校教师队伍整体素质和建设水平，加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍，为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前，我国共有60余所高校正在开展职教师资培养，但由于教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏，制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系，教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目，中央财政划拨1.5亿元，系统开发用于本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源。其中，包括88个专业项目、12个资格考试制度开发等公共项目。该项目由42家开设职业技术师范专业的高等学校牵头，组织近千家科研院所、职业学校、行业企业共同研发，一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力，培养资源开发项目取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校88个专业（类）职教师资本科培养资源项目，内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案，以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源；二是取得了6项公共基础研究成果，内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等；三是完成了18个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准开发。上述成果，共计800多本正式出版物。总体来说，培养资源开发项目实现了高效益：形成了一大批资源，填补了相关标准和资源的空白；凝聚了一支研发队伍，强化了教师培养的“校—企—校”协同；引领了一批高校的教学改革，带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程，是加强职教教师培养培训一体化建设的关键环节，也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自2013年项目立项开题以来，各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员做了大量深入细致的工作，结合职教教师培养实践，研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果，有力推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时，专家指导委员会的各位专家以及项目管理办公室的各位同志，克服了许多困难，按照两部对项目开发工作的总体要求，为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血，也为各个项目提供了专业的咨询和指导，有力地保障了项目实施和成果质量。在此，我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会

2016年3月

## 项目专家指导委员会

主任 刘来泉

副主任 王宪成 郭春鸣

成员 (按姓氏笔画排列)

刁哲军 王乐夫 王继平 邓泽民 石伟平 卢双盈

刘正安 刘君义 米靖 汤生玲 李仲阳 李栋学

李梦卿 吴全全 沈希 张元利 张建荣 周泽扬

孟庆国 姜大源 夏金星 徐朔 徐流 郭杰忠

曹晔 崔世钢 韩亚兰

# 前言

“十二五”期间，教育部、财政部启动了“职业院校教师素质提高计划本科专业职教师资培养资源开发项目”，其指导思想为：以推动教师专业化为引领，以高素质“双师型”师资培养为目标，完善职教师资本科培养标准及课程体系。

本书是“职教师资本科电气工程及其自动化专业培养标准、培养方案、核心课程和特色教材开发项目”的成果之一，是根据电气工程及其自动化专业以及中等职业学校教师岗位的职业性和师范性特点，在现代教育理念指导下，经过广泛的国内调研与国际比较，吸取国内外近年来的研究与改革成果，充分考虑到我国职业教育教师培养的现实条件、教师基本素养和专业教学能力，以职教师资人才成长规律与教育教学规律为主线，以中等职业学校“双师型”教师职业生涯可持续发展的实际需求为培养目标，按照开发项目中“发电厂及变电站电气设备”课程大纲，经过反复讨论编写而成的。

全书共分如下八个部分：

项目1“发电厂及变电站基本认知”，主要熟悉各类发电厂的电能生产过程、变电站的基本类型，初步了解发电厂和变电站电气设备的分类及作用，建立电力系统的整体概念；介绍电力系统发展概况、发展战略以及前景；最后给出一个综合性设计项目——“220kV 降压变电站电气一次部分初步设计”，学习后续项目时以该设计项目的部分工作作为综合实训。

项目2“电气主系统设计与运行”，介绍电气主接线的基本形式及其运行、主变压器的选择、限制短路电流的措施、发电厂和变电站的电气主接线设计方法，完成电气主接线设计任务；本项目还包括发电厂和变电站中的一个日常重要任务——电气倒闸操作。

项目3“发电厂及变电站自用电系统运行”，介绍自用电负荷特性及分类、自用电电源引接、自用电接线设计、厂用变压器的选择、厂用电动机自启动校验。

项目4“载流导体与绝缘子运行”，介绍载流导体的长期发热和短时发热理论、短路的电动力效应，导体和绝缘子的选择，导体和绝缘子的巡检与异常或故障处理。

项目5“高压开关电器运行”，介绍开关电器中的电弧理论，高压断路器和隔离开关的结构原理、选择及巡检与异常或故障处理。

项目6“互感器运行”，讲述电流互感器和电压互感器的原理、分类与结构、接线、选择、巡检与异常或故障处理；还对智能变电站中出现的电子式互感器做了重点介绍。

项目7“电气安装识图”，讲述配电装置的基本要求、分类及配电装置图识图，配电装置实例设计并分析配电装置主要图样，典型发电厂和变电站的电气总平面布置图设计，达到“懂配电装置，会选择配电装置，能识绘配电装置各类图样”的目的；电气二次回路图的分类、表示方法、编号原则及识图，并以“10kV 线路过电流保护”为例，绘制出归总式原理

接线图、展开接线图、安装接线图等二次接线图，以期获得从事变电检修所必需的识图技能。

项目8“发电厂和变电站监控”，介绍发电厂和变电站的控制方式，完成断路器的控制与信号回路接线分析、中央信号系统工作过程分析任务，最后是火电厂和变电站计算机监控系统的初步认知。

本书项目1、4、5由赵艳雷、张正团编写，项目6、7由张正团、谭博学编写，项目2、3由黄桂春编写，项目8由聂兵编写，全书由张正团统稿。此外，何柏娜、万隆、卢世萍也做了部分编写工作。

在项目评审过程中，专家指导委员会刘来泉（中国职业教育技术协会）、姜大源（教育部职业技术教育中心研究所）、沈希（浙江农林大学）、吴全全（教育部职业技术教育中心研究所教师资源研究室）、张元利（青岛科技大学）、韩亚兰（佛山市顺德区梁銶琚职业技术学校）、王继平（同济大学职业技术教育学院）对本教材的编写提出了最宝贵意见，在此表示最诚挚的敬意和感谢！另外，本书在编写过程中参考了相关资料和教材，在此向这些文献的作者表示衷心的感谢！

限于编写组的理论水平和实践经验，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 出版说明

## 前言

### 项目 1 发电厂及变电站基本认知 .....

#### 任务 1.1 发电厂认知 .....

##### 1.1.1 火力发电厂 .....

##### 1.1.2 水力发电厂 .....

##### 1.1.3 核能发电厂 .....

##### 1.1.4 新能源发电 .....

#### 任务 1.2 变电站认知 .....

##### 1.2.1 变电站的类型 .....

##### 1.2.2 发电厂及变电站电气设备 .....

##### 1.2.3 电气接线和配电装置 .....

#### 任务 1.3 我国电力工业发展概况及前景 .....

##### 1.3.1 电力工业加速发展,我国装机容量突破 13 亿 kW .....

##### 1.3.2 发展大机组,建设大电厂 .....

##### 1.3.3 发展特高压、建设大电网,全国联网格局基本形成 .....

##### 1.3.4 电网保护、控制、自动化技术进入国际行列 .....

#### 任务 1.4 “发电厂及变电站电气设备”

##### 课程工作过程组织实施 .....

##### 1.4.1 设计题目 .....

##### 1.4.2 待建变电站基本资料 .....

##### 1.4.3 110kV 和 10kV 用户负荷统计资料 .....

##### 1.4.4 待设计变电所与电力系统的连接情况 .....

##### 1.4.5 设计任务 .....

##### 1.4.6 图样要求 .....

#### 思考题与习题 .....

### 项目 2 电气主系统设计与运行 .....

#### 任务 2.1 电气主系统基本认知 .....

##### 2.1.1 电气主系统的概念 .....

##### 2.1.2 电气主接线的基本要求 .....

#### 任务 2.2 电气主接线的基本接线形式 .....

##### 2.2.1 单母线不分段接线 .....

##### 2.2.2 单母线分段接线 .....

##### 2.2.3 单母线分段带旁路母线的接线 .....

##### 2.2.4 普通双母线接线 .....

##### 2.2.5 双母线分段接线 .....

##### 2.2.6 双母线带旁路母线接线 .....

##### 2.2.7 双母线双断路器接线 .....

##### 2.2.8 一台半断路器双母线及 4/3 台断路器双母线接线 .....

##### 2.2.9 变压器—母线组接线 .....

##### 2.2.10 单元接线 .....

##### 2.2.11 桥形接线 .....

##### 2.2.12 角形接线 .....

##### 2.2.13 火电厂典型电气主接线方案分析 .....

##### 2.2.14 水电厂典型电气主接线方案分析 .....

##### 2.2.15 变电站典型电气主接线方案分析 .....

#### 任务 2.3 限制短路电流的措施 .....

##### 2.3.1 加装限流电抗器 .....

##### 2.3.2 采用低压分裂绕组变压器 .....

##### 2.3.3 选择适当的主接线形式和运行方式 .....

#### 任务 2.4 发电厂和变电站主变压器的选择 .....

##### 2.4.1 主变压器容量和台数的选择 .....

##### 2.4.2 主变压器型式和结构的选择 .....

#### 任务 2.5 设计电气主接线 .....

##### 2.5.1 电气主接线的设计原则 .....

##### 2.5.2 电气主接线的设计程序 .....



2.5.3 电气主接线的设计举例 .....	59	4.1.4 短路电流的电动力 .....	108
任务 2.6 电气倒闸操作 .....	61	任务 4.2 电气设备选择的一般条件 .....	112
2.6.1 电气设备的状态 .....	62	4.2.1 按正常工作条件选择 .....	112
2.6.2 倒闸操作的概念和分类 .....	63	4.2.2 按短路条件校验 .....	114
2.6.3 倒闸操作的基本原则及规定 .....	64	任务 4.3 载流导体的运行 .....	116
2.6.4 防止电气误操作的措施 .....	65	4.3.1 母线基本认知 .....	116
2.6.5 开关类设备停送电操作 .....	66	4.3.2 母线的选择 .....	120
思考题与习题 .....	67	4.3.3 电力电缆基本认知 .....	126
<b>项目 3 发电厂及变电站自用电力系统</b>		4.3.4 电力电缆的选择 .....	128
<b>运行</b> .....	69	4.3.5 载流导体的运行与维护 .....	132
任务 3.1 自用电基本认知 .....	69	任务 4.4 绝缘子的运行 .....	132
3.1.1 厂用电及厂用电率 .....	69	4.4.1 绝缘子基本认知 .....	132
3.1.2 厂用电负荷分类 .....	70	4.4.2 支柱绝缘子和穿墙套管的选择 .....	138
3.1.3 对厂用电接线的基本要求 .....	71	4.4.3 绝缘子的运行与维护 .....	140
3.1.4 厂用电的电压等级 .....	71	思考题与习题 .....	140
任务 3.2 厂用电源及厂用电接线的基本形式 .....	73	<b>项目 5 高压开关电器运行</b> .....	142
3.2.1 厂用电源及其引接方式 .....	73	任务 5.1 开关电器中的灭弧原理 .....	142
3.2.2 厂用电接线的基本形式 .....	75	5.1.1 电弧的产生与维持 .....	143
任务 3.3 自用电典型接线分析 .....	77	5.1.2 电弧中的去游离 .....	144
3.3.1 火力发电厂的厂用电接线 .....	77	5.1.3 交流电弧的特性 .....	144
3.3.2 水力发电厂的厂用电接线 .....	83	5.1.4 交流电弧的熄灭条件 .....	144
3.3.3 变电站的站用电接线 .....	84	5.1.5 熄灭交流电弧的基本方法 .....	146
任务 3.4 厂用变压器的选择 .....	85	任务 5.2 高压断路器运行 .....	149
3.4.1 火电厂的主要厂用电负荷 .....	85	5.2.1 高压断路器基本认知 .....	149
3.4.2 厂用电负荷计算 .....	87	5.2.2 六氟化硫(SF <sub>6</sub> )断路器 .....	152
3.4.3 厂用变压器的选择 .....	88	5.2.3 真空断路器 .....	155
3.4.4 厂用变压器容量选择实例 .....	90	5.2.4 高压断路器的操动机构 .....	160
任务 3.5 厂用电动机的选择和自启动校验 .....	91	5.2.5 高压断路器的选择 .....	166
3.5.1 厂用机械特性和电力拖动运动方程 .....	91	5.2.6 高压断路器的运行与维护 .....	168
3.5.2 厂用电动机的类型及其特点 .....	92	任务 5.3 高压隔离开关运行 .....	175
3.5.3 厂用电动机选择 .....	94	5.3.1 高压隔离开关基本认知 .....	175
3.5.4 电动机的自启动校验 .....	94	5.3.2 高压隔离开关的选择 .....	178
思考题与习题 .....	99	5.3.3 高压隔离开关的运行与维护 .....	180
<b>项目 4 载流导体与绝缘子运行</b> .....	100	思考题与习题 .....	182
任务 4.1 载流导体的发热和电动力分析 .....	100	<b>项目 6 互感器运行</b> .....	183
4.1.1 概述 .....	100	任务 6.1 电流互感器运行 .....	183
4.1.2 导体的长期发热 .....	101	6.1.1 电磁式电流互感器的工作原理 .....	184
4.1.3 导体的短时发热 .....	105	6.1.2 电磁式电流互感器的测量误差 .....	185
		6.1.3 电流互感器的准确级 .....	186
		6.1.4 电流互感器的额定二次负荷 .....	188
		6.1.5 电磁式电流互感器的分类和结构 .....	188
		6.1.6 电流互感器的接线方式 .....	190

6.1.7 电流互感器的配置原则 .....	190	7.2.1 电气二次接线图中使用的图形 符号和文字符号 .....	238
6.1.8 电流互感器的选择 .....	191	7.2.2 归总式原理接线图 .....	239
6.1.9 电流互感器的运行与维护 .....	193	7.2.3 展开接线图 .....	241
任务 6.2 电压互感器运行 .....	195	7.2.4 安装接线图 .....	241
6.2.1 电磁式电压互感器的工作原理 .....	195	7.2.5 二次接线图表示形式的新进展 .....	246
6.2.2 电磁式电压互感器的测量误差 .....	195	思考题与习题 .....	246
6.2.3 电磁式电压互感器的准确级和 额定容量 .....	196	<b>项目 8 发电厂和变电站监控</b> .....	247
6.2.4 电磁式电压互感器的铁磁谐振 及防谐措施 .....	197	任务 8.1 发电厂和变电站的控制方式 .....	247
6.2.5 电磁式电压互感器的分类 .....	198	8.1.1 发电厂的控制方式 .....	247
6.2.6 电磁式电压互感器的结构 .....	198	8.1.2 变电站的控制方式 .....	249
6.2.7 电容式电压互感器 .....	200	任务 8.2 断路器的控制 .....	249
6.2.8 电压互感器的接线方式 .....	202	8.2.1 对断路器控制回路的基本要求 .....	250
6.2.9 电压互感器的配置原则 .....	204	8.2.2 断路器控制回路的三大部件 .....	250
6.2.10 电压互感器的选择 .....	205	8.2.3 灯光监视的断路器控制及信号 回路 .....	253
6.2.11 电压互感器的运行与维护 .....	208	任务 8.3 中央信号系统 .....	256
任务 6.3 电子式互感器简介 .....	209	8.3.1 事故信号 .....	256
6.3.1 电子式互感器的分类 .....	209	8.3.2 预告信号 .....	259
6.3.2 电子式互感器的工作原理 .....	210	8.3.3 新型中央信号装置 .....	261
6.3.3 电子式互感器的特点和应用 前景 .....	212	任务 8.4 火电厂的计算机监控 .....	262
思考题与习题 .....	212	8.4.1 火电厂分散控制系统 (DCS) 的基本电气监控功能 .....	263
<b>项目 7 电气安装识图</b> .....	214	8.4.2 火电厂的网络计算机监控系统 .....	264
任务 7.1 配电装置识图 .....	214	8.4.3 大型火电厂计算机监控系统的 结构 .....	264
7.1.1 配电装置的分类 .....	214	任务 8.5 变电站的计算机监控 .....	266
7.1.2 配电装置的基本要求及设计 步骤 .....	215	8.5.1 变电站综合自动化 .....	266
7.1.3 配电装置的最小安全净距 .....	216	8.5.2 变电站计算机监控子系统的 功能 .....	267
7.1.4 屋内配电装置 .....	219	8.5.3 变电站综合自动化系统的 结构 .....	269
7.1.5 屋外配电装置 .....	223	思考题与习题 .....	272
7.1.6 成套配电装置 .....	228	<b>附录 综合项目设计示例</b> .....	273
7.1.7 发电厂的电气总平面布置 .....	234	<b>参考文献</b> .....	278
7.1.8 变电站的电气总平面布置 .....	236		
任务 7.2 电气二次回路识图 .....	238		

## 项目1

# 发电厂及变电站基本认知

到目前为止，人类所认识的能量有如下形式：机械能、热能、化学能、辐射能、核能和电能等。

能源，顾名思义是能量的来源或源泉，即指人类取得能量的来源，包括已经开发可供直接使用的自然资源和经过加工或转换的能量来源，而尚未开发的自然资源称为能源资源。按获得方法的不同，能源可分为一次能源和二次能源，一次能源是指直接由自然界采用的能源，如煤、石油、天然气、水利资源、核原料等；二次能源是由一次能源经加工转换而获得的另一种形态的能源，如电力、煤气、蒸汽、焦炭等。

电能作为一种二次能源，被广泛应用于现代工农业、交通运输、科学技术、国防建设及人民生活中，是现代生活中最方便、最洁净和最重要的能源。电能有许多优点：第一，电能便于大规模生产和远距离输送。用于生产电能的一次能源广泛，它可以由煤、石油、天然气、核能、水能等多种能源转换而成，便于大规模生产，电能运送简单，便于远距离传输和分配。第二，电能方便转换和易于控制。电能可方便地转换成其他形式的能，如机械能、热能、光能、声能、化学能及粒子的动能等，同时使用方便，易于实现有效而精确的控制。第三，损耗小。输送电能时损耗要比输送机械能和热能都小得多。第四，效率高。电能替代其他能源可以提高能源利用效率，被称之为“节约的能源”，如用电动机替代柴油机，用电气机车替代蒸汽机车，用电炉替代其他加热炉等，可提高效率 20%~50%。第五，电能在使用时无污染、噪声小，如用电瓶车替代汽车、柴油车、蒸汽机车等，成为“无公害车”，因此电能被称为“清洁能源”。电力工业的发展水平已成为衡量一个国家综合国力和现代化水平的重要标志。

电力系统由发电厂、变电站、输配电线路及电力用户构成。发电厂是将一次能源转换为二次能源即电能的工厂。变电站是变换电压和分配电能的场所，从发电厂向电力用户供电的过程中，为了提高供电的可靠性、经济性和安全性，广泛采用升压、降压变电站。

### 【知识目标】

1. 认知火力、水力、核能、风力、太阳能等各类发电厂的生产过程；
2. 认知变电站在电力系统中的地位、作用及工作过程；
3. 认知发电厂、变电站的一、二次设备。

### 【能力目标】

1. 能叙述发电厂类型及其生产过程；
2. 能叙述变电站类型及生产过程；
3. 能叙述发电厂和变电站中常用电气设备的作用并能用图形及文字符号表示。

## 任务 1.1 发电厂认知

### 【任务描述】

认知火力、水力、核能、风力、太阳能等各类发电厂的生产过程及发展。

### 【任务实施】

参观发电厂或观看关于发电厂的录像片。

### 【知识链接】

发电厂是把各种一次能源转换成二次能源（即电能）的工厂。按照发电厂所消耗一次能源的不同，发电厂分为火力发电厂（以煤、石油、天然气等为燃料）、水力发电厂（将水的位能和动能转换成电能）、核能发电厂以及太阳能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、生物质能发电厂及垃圾电厂等。此外，还有直接将热能转换成电能的磁流体发电厂等。

### 1.1.1 火力发电厂

火力发电厂简称火电厂，是利用煤、石油、天然气作为燃料生产电能的工厂，其能量的转换过程是：燃料的化学能→热能→机械能→电能。

#### 1. 火电厂的分类

(1) 按燃料分类：①燃煤发电厂，即以煤作为燃料的发电厂；②燃油发电厂，即以石油（实际是提取汽油、煤油、柴油后的渣油）为燃料的发电厂；③燃气发电厂，即以天然气、煤气等可燃气体为燃料的发电厂；④余热发电厂，即用工业企业的各种余热进行发电的发电厂。此外还有利用垃圾及工业废料作为燃料的发电厂。

(2) 按原动机分类：凝汽式汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂和蒸汽-燃气轮机发电厂等。

(3) 按输出能源分类：①凝汽式发电厂，即只向外供应电能的电厂，其效率较低，只有30%~40%；②热电厂，即同时向外供应电能和热能的电厂，其效率较高，可达60%~70%。

(4) 按蒸汽压力和温度分类：①中低压发电厂，其蒸汽压力在3.92MPa、温度为450℃的发电厂，单机功率小于25MW；②高压发电厂，其蒸汽压力一般为9.9MPa、温度为540℃的发电厂，单机功率小于100MW；③超高压发电厂，其蒸汽压力一般为13.83MPa、温度为540/540℃的发电厂，单机功率小于200MW；④亚临界压力发电厂，其蒸汽压力一般为16.77MPa、温度为540/540℃的发电厂，单机功率为300~1000MW不等；⑤超临界压力发电厂，其蒸汽压力大于22.11MPa、温度为550/550℃的发电厂，机组功率为600MW、800MW及以上；⑥超超临界压力发电厂，其蒸汽压力为26.25MPa、温度为600/600℃的发电厂，机组功率为1000MW及以上。

(5) 按发电厂总装机容量的大小分类：①小容量发电厂，其装机总容量在100MW以下的发电厂；②中容量发电厂，其装机总容量在100~250MW范围内的发电厂；③大中容量发电厂，其装机总容量在250~1000MW范围内的发电厂；④大容量发电厂，其装机总容量在1000MW及以上发电厂。

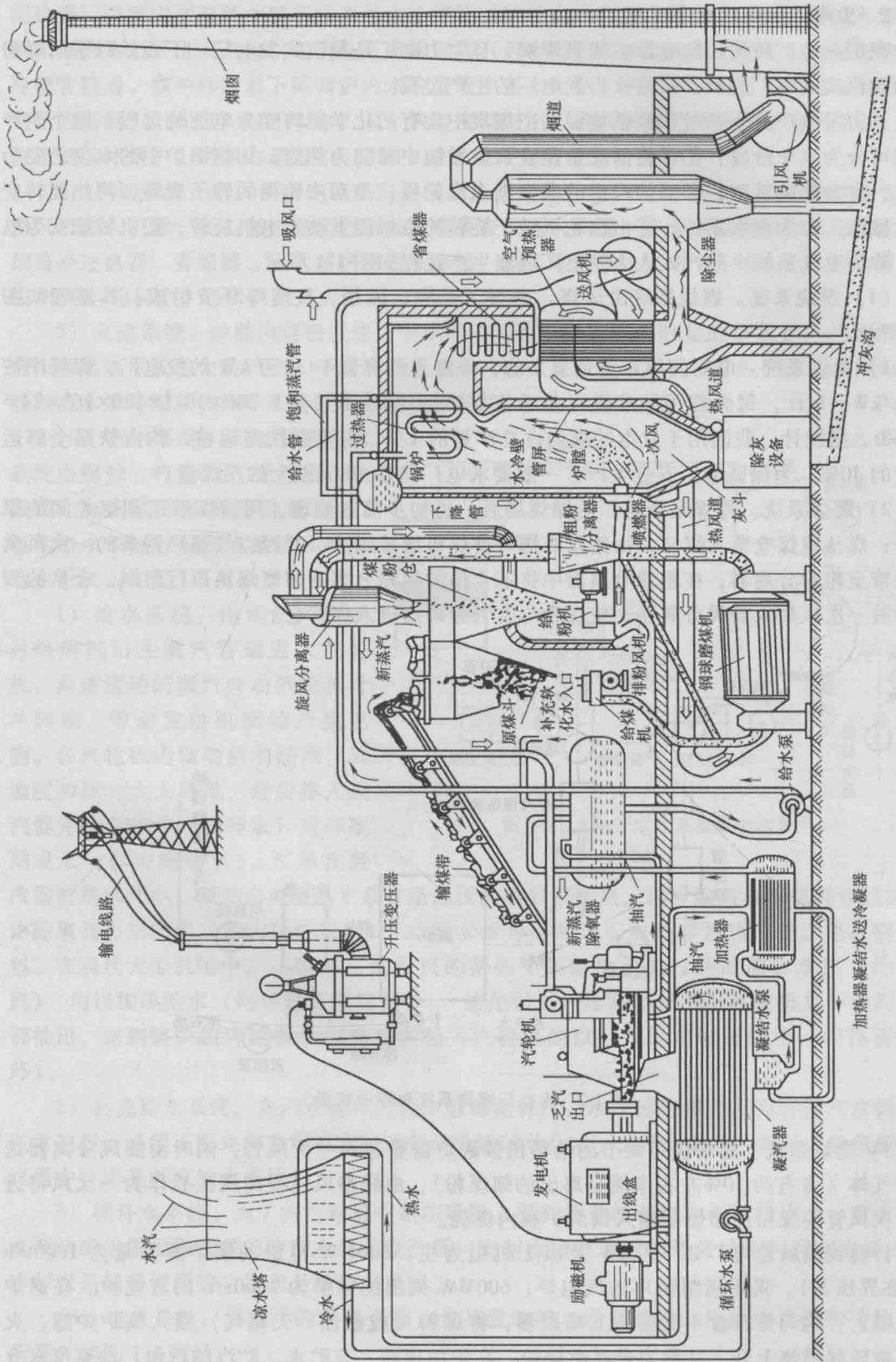


图 1-1 凝汽式火电厂生产过程示意图

## 2. 火电厂的电能生产过程

我国火电厂所使用的能源主要是煤炭，且主力电厂是凝汽式发电厂。下面就以采用煤粉炉的凝汽式火电厂为例，介绍火力发电厂的生产过程。

火力发电厂的生产过程概括地说是把煤炭中含有的化学能转变为电能的过程，整个生产过程可分为三个阶段：①燃料的化学能在锅炉燃烧中转变为热能，加热锅炉中的水使之变为蒸汽，称为燃烧系统；②锅炉产生的蒸汽进入汽轮机，推动汽轮机的转子旋转，将热能转变为机械能，称为汽水系统；③由汽轮机转子旋转的机械能带动发电机旋转，把机械能变为电能，称为电气系统。凝汽式火力发电厂电能生产过程如图 1-1 所示。

(1) 燃烧系统。燃烧系统由运煤、磨煤、燃烧、风烟、灰渣等环节组成，其流程如图 1-2 所示。

1) 运煤系统。电厂的用煤量是很大的，一座装机容量  $4 \times 30$  万 kW 的发电厂，煤耗率按  $360\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h}$  计，每天需用标准煤（每千克煤产生 7000 卡热量） $360 \times 10^{-3} \times 120 \times 10^4 \times 24 = 10368\text{t}$ 。据统计，我国用于发电的煤约占总产量的  $1/2$ ，主要靠铁路运输，约占铁路全部运输量的 40%。为保证电厂安全生产，一般要求电厂储备 10 天以上的用煤量。

2) 磨煤系统。将煤运至电厂的储煤场后，经初步筛选处理，用输煤带送到锅炉间的原煤仓；煤从原煤仓落入煤斗，由给煤机送入磨煤机磨成煤粉，并经空气预热器来的一次风烘干并带至粗粉分离器；在粗粉分离器中将不合格的粗粉分离返回磨煤机再行磨制，合格的细煤粉被一次风带入旋风分离器，使煤粉与空气分离后进入煤粉仓。

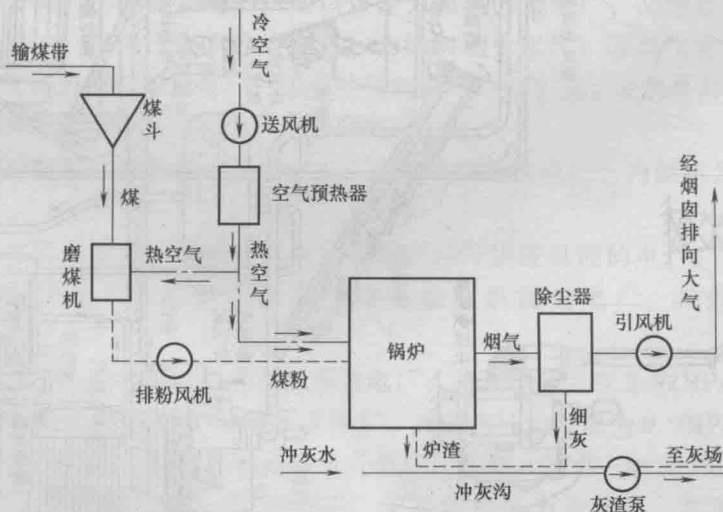


图 1-2 火电厂燃烧系统流程示意图

3) 燃烧系统。煤粉由可调节的给粉机按锅炉需要送入一次风管，同时由旋风分离器送来的气体（含有约 10% 左右未能分离出的细煤粉），由排粉风机提高压头后作为一次风将进入一次风管的煤粉经喷燃器喷入锅炉炉膛内燃烧。

目前我国新建电厂以 300MW 及以上机组为主。300MW 机组的锅炉蒸发量为  $1000\text{t}/\text{h}$ （亚临界压力），采用强制循环的汽包炉；600MW 机组的锅炉为  $2000\text{t}/\text{h}$  的直流炉。在锅炉的四壁上，均匀分布着 4 支或 8 支喷燃器，将煤粉（或燃油、天然气）喷入锅炉炉膛，火焰呈旋转状燃烧上升，又称为悬浮燃烧炉。在炉的顶端，有贮水、贮汽的汽包，内有汽水分

离装置，炉膛内壁有彼此紧密排列的水冷壁管，炉膛内的高温火焰将水冷壁管内的水加热成汽水混合物上升进入汽包，而炉外下降管则将汽包中的低温水靠自重下降至水连箱与炉内水冷壁管接通。靠炉外冷水下降而炉内水冷壁管中热水自然上升的锅炉叫自然循环汽包炉，而当压力高到 16.66~17.64MPa 时，水、汽重度差变小，必须在循环回路中加装循环泵，即称为强制循环锅炉。当压力超过 18.62MPa 时，应采用直流锅炉。

4) 风烟系统。送风机将冷风送到空气预热器加热，加热后的气体一部分经磨煤机、排粉风机进入炉膛，另一部分经喷燃器外侧套筒直接进入炉膛。炉膛内燃烧形成的高温烟气沿烟道经过热器、省煤器、空气预热器逐渐降温，再经除尘器除去 90%~99%（电除尘器可除去 99%）的灰尘，经引风机送入烟囱，排向大气。

5) 灰渣系统。炉膛内煤粉燃烧后生成的小灰粒，经除尘器收集的细灰排入冲灰沟，燃烧中因结焦形成的大块炉渣，下落到锅炉底部的渣斗内，经碎渣机破碎后也排入冲灰沟，再经灰渣水泵将细灰和碎炉渣经冲灰管道排往灰场。

(2) 汽水系统。火电厂的汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器、除氧器、加热器等设备及管道构成，包括给水系统、循环水系统和补充给水系统，如图 1-3 所示。

1) 给水系统。由锅炉产生的过热蒸汽沿主蒸汽管道进入汽轮机，高速流动的蒸汽冲动汽轮机叶片转动，带动发电机旋转产生电能。在汽轮机内做功后的蒸汽，其温度和压力大大降低，最后排入凝汽器并被冷却水（循环水）冷却凝结成水（称为凝结水），汇集在凝汽器的热水井中。凝结水由凝结水泵打至低压加热器中加热，再经除氧器除氧并继续加热。

由除氧器出来的水（称为锅炉给水），经给水泵升压和高压加热器加热，最后送入锅炉汽包。在现代大型机组中，一般都从汽轮机的某些中间级抽出做过功的部分蒸汽（称为抽汽），用以加热给水（叫作给水回热循环），或把做过一段功的蒸汽从汽轮机某一中间级全部抽出，送到锅炉的再热器中加热后再引入汽轮机的以后几级中继续做功（叫作再热循环）。

2) 补充给水系统。在汽水循环过程中总难免有汽、水泄漏等损失，为维持汽水循环的正常进行，必须不断地向系统补充经过化学处理的软化水，这些补给水一般补入除氧器或凝汽器中，即是补充给水系统。

3) 循环水系统。为了将汽轮机中做功后排入凝汽器中的乏汽冷却凝结成水，需由循环水泵从凉水塔抽取大量的冷却水送入凝汽器，冷却水吸收乏汽的热量后再回到凉水塔冷却，冷却水是循环使用的。这就是循环水系统。

(3) 电气系统。发电厂的电气系统，包括发电机、励磁装置、厂用电系统和升压变电所等，如图 1-4 所示。

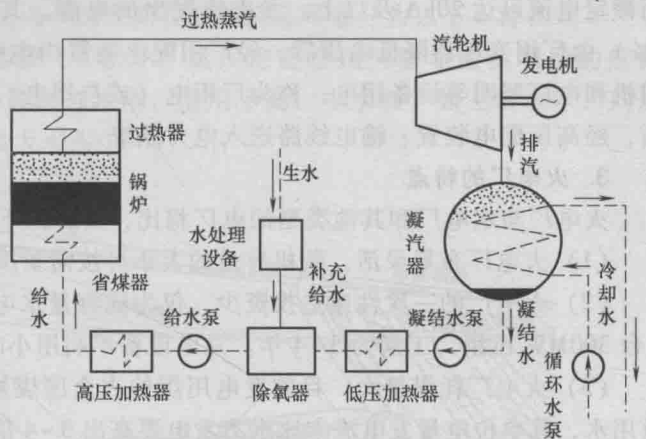


图 1-3 火电厂汽水系统流程示意图

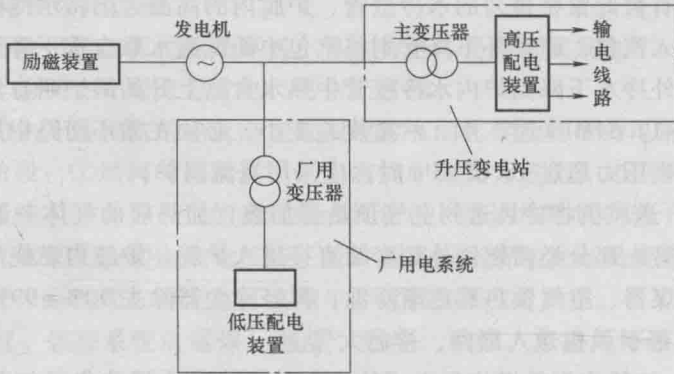


图 1-4 发电厂电气系统示意图

发电机的机端电压和电流随着容量的不同而各不相同，一般额定电压在 10~27kV 之间，而额定电流可达 20kA 及以上。发电机发出的电能，其中一小部分（占发电机容量的 4%~8%）由厂用变压器降低电压后，经厂用配电装置由电缆供给水泵、送风机、磨煤机等各种辅机和电厂照明等设备用电，称为厂用电（或自用电）。其余大部分电能，由主变压器升压后，经高压配电装置、输电线路送入电力系统。

### 3. 火电厂的特点

火电厂与水电厂和其他类型的电厂相比，具有以下特点：

- (1) 火电厂布局灵活，装机容量的大小可按需要决定。
- (2) 火电厂的一次性建设投资少，仅为同容量水电厂的一半左右。火电厂建造工期短，2 台 300MW 机组，工期为 3~4 年。发电设备年利用小时数较高，约为水电厂的 1.5 倍。
- (3) 火电厂耗煤量大，目前发电用煤约占全国煤炭总产量的 50%，加上运煤费用和大量用水，其单位电量发电成本比水力发电要高出 3~4 倍。
- (4) 火电厂动力设备繁多，发电机组控制操作复杂，厂用电量和运行人员都多于水电厂，运行费用高。
- (5) 燃煤发电机组由停机到开机并带满负荷需要几小时到十几小时，并附加耗用大量燃料。例如，一台 300MW 发电机组起停一次耗煤可达 60t 之多。
- (6) 火电厂担负急剧升降的负荷时，还必须付出附加燃料消耗的代价。例如，据统计某电力系统火电平均煤耗 400g/kW·h，而参与调峰煤耗将增至 468~511g/kW·h，平均增加 22%~29%。
- (7) 火电厂担负调峰、调频或事故备用时，相应的事故增多，强迫停运率增高，厂用电率增高。据此，从经济性和供电可靠性考虑，火电厂应当尽可能担负较均匀的负荷。
- (8) 火电厂的各种排放物（如烟气、灰渣和废水）对环境的污染较大。

## 1.1.2 水力发电厂

水力发电厂简称水电厂，又称水电站，是把水的位能和动能转换成电能的工厂。它的基本生产过程是：从河流较高处或水库内引水，利用水的压力或流速推动水轮机旋转，将水能转变成机械能，然后由水轮机带动发电机旋转，将机械能转换成电能。

因为水的能量与其流量和落差（水头）成正比，所以利用水能发电的关键是集中大



量的水和造成大的水位落差。我国是世界上水能最丰富的国家，蕴藏量为 6.76 亿 kW，年发电量  $1.92 \times 10^4$  亿 kW·h。优先开发水电，这是一条国际性的经验，是发展能源的客观规律。

举世瞩目的三峡工程总库容量为 393 亿  $m^3$ ，装机容量为 2240 万 kW，年平均发电量为 1000 亿 kW·h。巴西的伊泰普水电厂（位于南美洲巴西和巴拉圭交界处的巴拉那河中游）总库容 290 亿  $m^3$ ，装机容量 1260 万 kW，年发电量 700 亿 kW·h。

由于天然水能存在的状况不同，开发利用的方式也各异，因此，水电厂的型式也是多种多样的。

## 1. 水电厂的分类

(1) 按集中落差大小的不同，可分为坝式水电站和引水式水电站两大类。

1) 坝式水电站。在河流的适当位置建筑拦河坝，形成水库，抬高上游水位，使坝的上、下游形成大的水位差，这种水电站称为坝式水电站。坝式水电站适宜建在河道坡降较缓且流量较大的河段。这类水电站按厂房与坝的相对位置不同又可细分为以下 6 种：

① 坝后式厂房。坝后式水电站如图 1-5 所示。其厂房建在拦河坝非溢流坝段的后面（下游侧），不承受水的压力，压力管道通过坝体，适用于高、中水头，如三峡电厂、刘家峡电厂（总装机容量 122.5 万 kW，最大水头 114m）。

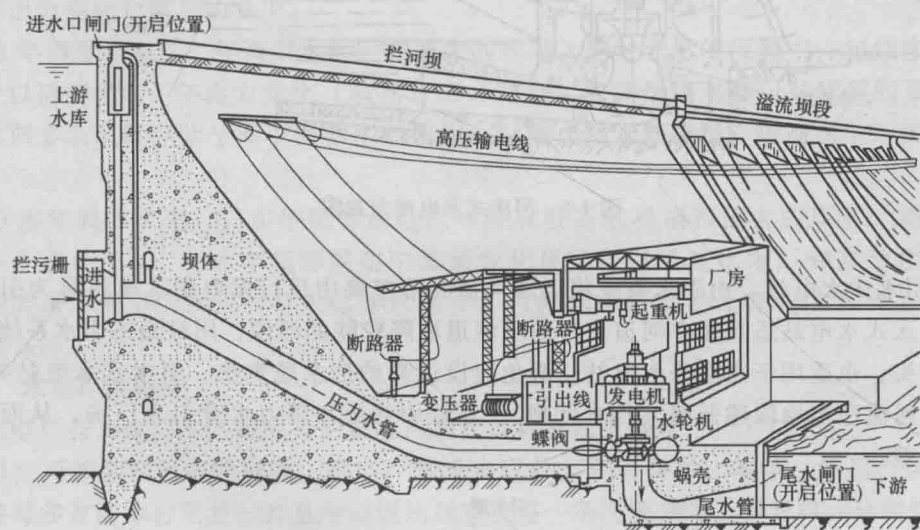


图 1-5 坝后式水电站示意图

② 溢流式厂房。溢流式厂房建在溢流坝段后（下游侧），泄洪水流从厂房顶部越过泄入下游河道，适用于河谷狭窄、水库下泄港人洪水量大、溢洪与发电厂分区布置有一定困难的情况，如浙江的新安江水电站（总装机容量 66.25 万 kW，最大水头 84.3m）及贵州的乌江渡水电站（总装机容量 63 万 kW，最大水头 134.2m）。

③ 岸边式厂房。岸边式厂房建在拦河坝下游河岸边的地面上，引水道及压力管道明铺于地面或埋设于地下，如松花江上游的白山水电站（总装机容量 150 万 kW，最大水头 126m）的二期厂房（一期厂房为地下式）。

④ 地下式厂房。地下式厂房的引水道和厂房都建在坝侧地下，如四川雅砻江下游的二