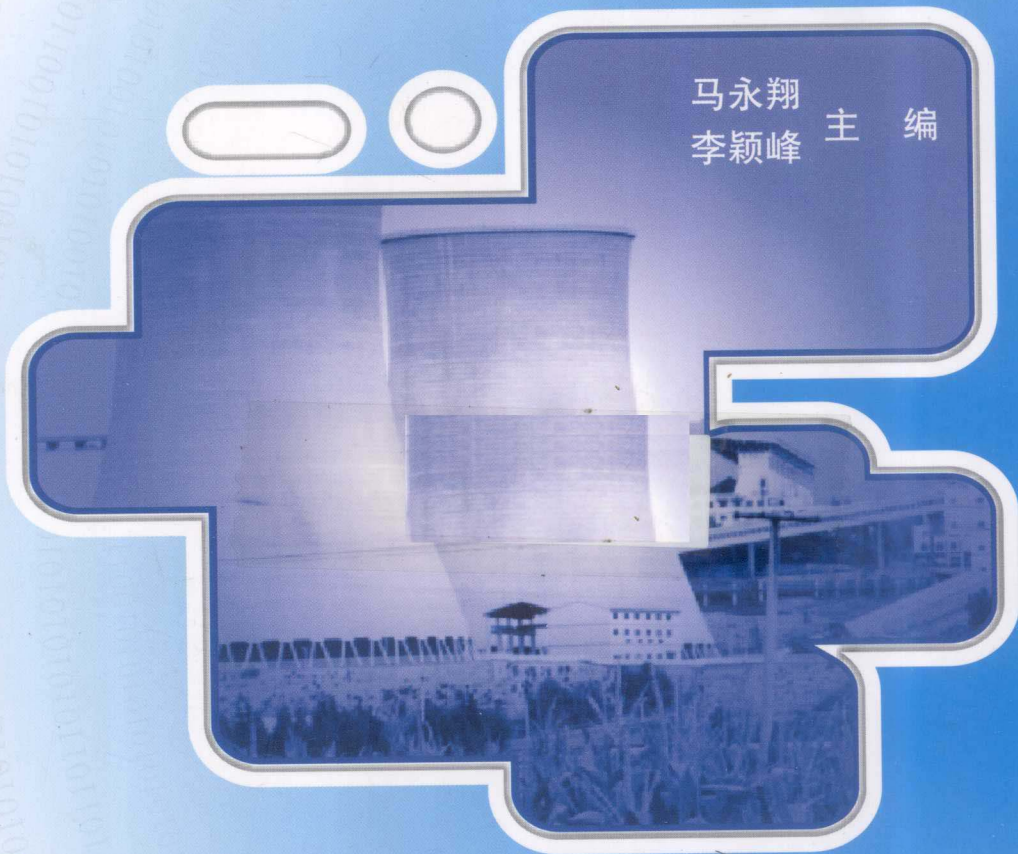




21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

# 发电厂变电站 电气部分

马永翔 主 编  
李颖峰



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

# 发电厂变电所电气部分

主 编 马永翔 李颖峰



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书主要介绍了发电厂、变电所电气主系统的构成、设计及运行的基本原理,共分8章,主要内容包括:绪论,电气设备的结构与工作原理,电气主接线与厂、所接线,电气设备选择,配电装置,发电厂和变电所的控制与信号,电力变压器的运行,设备的运行与维护等。

本书主要作为普通高等学校电气工程类专业的本科教材,也可供电力工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

发电厂变电所电气部分/马永翔,李颖峰主编. —北京:北京大学出版社,2010.1

(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-16493-8

I. 发… II. ①马… ②李… 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. TM62 TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 231003 号

书 名: 发电厂变电所电气部分

著作责任者: 马永翔 李颖峰 主编

策划编辑: 李 虎

责任编辑: 李娉婷

标准书号: ISBN 978-7-301-16493-8/TP·0067

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 508 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

本书为 21 世纪全国高等院校实用规划教材。根据 2008 年 5 月在北京召开的 21 世纪本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材建设会议所通过的大纲，针对我国电力工业发展的实际，在总结教学经验、充分吸收兄弟院校教学成果及有关工程技术人员意见的基础上编写的。本书的编写具有如下特点：

(1) 先进性。本书反映了现代发电厂、变电站和电力系统的发展现状及特点，注重新技术和新设备在电力系统中的应用，如光电式互感器、新型合成绝缘子、GIS 组合电器、发电厂变电站的中央监控系统的运行及工作原理。

(2) 创新性。在形式上，每章给出本章的知识架构、教学目标及要求，并提供丰富的现场照片和相关的阅读材料，便于学习。章末提供了丰富的习题，并附参考答案，以便读者理解和掌握。

(3) 实用性。在内容上，本书紧紧围绕培养电气工程创新型应用人才的目标，加强对教学内容的优化，富有针对性和实用性。编写中，本书淡化繁琐的理论推导及设计论证，力争做到内容精练、重点突出，同时附加了常用电气设备的参数，以便课程设计、毕业设计等实践环节使用。

本书由马永翔、李颖峰任主编，马永翔负责统稿。本书编写分工为：马永翔编写第 1、2 章，李颖峰编写第 3、4 章，杨琳霞编写第 5、7 章，郭云玲编写第 6 章及附录部分，闫群民编写第 8 章及参考答案部分。本书承蒙清华大学董新洲教授在百忙之中仔细审阅，并对本书的内容和结构的优化提出了不少宝贵意见和建议，在此表示诚挚的谢意。

编写过程中，还得到了兄弟院校及电力系统部分同志的帮助，在此一并致谢。

限于编者水平，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
本章教学目标与要求 .....	1
1.1 能源和电能 .....	1
1.1.1 能源分类 .....	1
1.1.2 电能 .....	2
1.1.3 发电厂 .....	2
1.2 火力发电厂 .....	3
1.2.1 分类 .....	3
1.2.2 火电厂的电能生产过程 .....	3
1.2.3 火电厂的特点 .....	7
1.3 水力发电厂 .....	8
1.3.1 水电厂的分类 .....	8
1.3.2 水电厂的特点 .....	11
1.3.3 抽水蓄能电厂 .....	12
1.4 核能发电厂 .....	13
1.4.1 核电厂的分类 .....	14
1.4.2 核电厂的系统 .....	16
1.4.3 核电厂的运行 .....	17
1.5 新能源发电 .....	18
1.5.1 风力发电 .....	18
1.5.2 海洋能发电 .....	19
1.5.3 地热发电 .....	21
1.5.4 太阳能发电 .....	22
1.5.5 生物质能发电 .....	23
1.5.6 磁流体发电 .....	23
1.6 变电所类型 .....	23
1.7 发电厂和变电所电气设备简述 .....	25
1.7.1 电气一次设备 .....	25
1.7.2 电气二次设备 .....	27
1.7.3 电气主接线和配电装置的概念 .....	28
1.8 我国电力工业发展概况 .....	28
1.8.1 电力工业加速发展, 全国	

装机容量突破 8 亿 kW .....	29
1.8.2 发展大机组, 建设 大电厂 .....	29
1.8.3 发展特高压、建设大电网, 全国联网格局基本形成 .....	31
1.8.4 电网保护、控制、自动化 技术进入国际行列 .....	32
1.9 本课程的目的和任务 .....	32
本章知识构架 .....	33
阅读材料 .....	33
习题 .....	34

## 第 2 章 电气设备的结构及工作

<b>原理</b> .....	35
本章教学目标与要求 .....	35
2.1 开关电器中的电弧 .....	36
2.1.1 电弧现象 .....	36
2.1.2 电弧的产生与维持 .....	36
2.1.3 电弧的熄灭 .....	37
2.1.4 交流电弧的特性 .....	38
2.1.5 交流电弧的熄灭条件 .....	39
2.1.6 弧隙电压恢复过程分析 .....	41
2.1.7 熄灭交流电弧的基本 方法 .....	47
2.2 高压断路器 .....	49
2.2.1 高压断路器的分类及基本 参数 .....	49
2.2.2 SF <sub>6</sub> 断路器 .....	53
2.2.3 真空断路器 .....	62
2.2.4 断路器的操动机构 .....	66
2.3 隔离开关 .....	67
2.3.1 隔离开关的用途与分类 .....	67
2.3.2 屋内隔离开关 .....	68
2.3.3 屋外隔离开关 .....	68
2.3.4 隔离开关操动机构 .....	69



2.4 高压负荷开关 .....	69	3.1 电气主接线的基本要求 .....	122
2.5 熔断器 .....	70	3.2 电气主接线的基本形式 .....	123
2.5.1 概述 .....	70	3.2.1 有汇流母线的主接线 ...	123
2.5.2 低压熔断器 .....	71	3.2.2 无汇流母线的主接线 ...	133
2.5.3 高压熔断器 .....	73	3.3 发电厂和变电所主变压器的	
2.6 低压开关电器 .....	74	选择 .....	136
2.6.1 刀开关 .....	75	3.3.1 主变压器容量、台数的	
2.6.2 接触器 .....	75	选择 .....	137
2.6.3 磁力起动器 .....	76	3.3.2 主变压器型式的选择 ...	138
2.6.4 自动空气开关 .....	78	3.4 限制短路电流的措施 .....	141
2.7 绝缘子 .....	80	3.4.1 加装限流电抗器 .....	141
2.7.1 概述 .....	80	3.4.2 采用低压分裂绕组	
2.7.2 复合绝缘子 .....	81	变压器 .....	143
2.8 母线 .....	88	3.4.3 选择适当的主接线形式和	
2.8.1 母线材料 .....	89	运行方式 .....	145
2.8.2 敞露母线 .....	89	3.5 各类发电厂、变电所主接线的特点	
2.8.3 封闭母线 .....	91	及实例 .....	146
2.9 电力电缆 .....	92	3.5.1 火力发电厂电气	
2.9.1 电缆分类 .....	93	主接线 .....	146
2.9.2 结构及性能 .....	93	3.5.2 水电站的主接线 .....	148
2.9.3 常用电缆中间接头盒和		3.5.3 变电所电气主接线 .....	149
终端接头盒的结构及		3.6 电气主接线的设计原则和	
性能 .....	94	程序 .....	151
2.10 电抗器 .....	96	3.6.1 主接线的设计原则 .....	151
2.10.1 限流电抗器 .....	97	3.6.2 电气主接线的设计	
2.10.2 串联电抗器和并联		程序 .....	152
电抗器 .....	98	3.6.3 电气主接线的设计	
2.11 互感器 .....	100	举例 .....	154
2.11.1 概述 .....	100	3.7 自用电及接线 .....	156
2.11.2 电磁式电流互感器 .....	101	3.7.1 概述 .....	156
2.11.3 电磁式电压互感器 .....	108	3.7.2 厂用电接线 .....	158
2.11.4 电容分压式电压		3.7.3 变电所的自用电接线 ...	159
互感器 .....	113	本章知识构架 .....	160
2.11.5 光电式互感器简介 .....	115	阅读材料 .....	160
本章知识构架 .....	116	习题 .....	163
阅读材料 .....	117	<b>第4章 电气设备选择</b> .....	166
习题 .....	118	本章教学目标与要求 .....	166
<b>第3章 电气主接线与厂、所接线</b> ...	121	4.1 载流导体的发热和电动力 .....	167
本章教学目标与要求 .....	121	4.1.1 概述 .....	167

4.1.2 导体的长期发热 .....	168	5.3 屋外配电装置 .....	214
4.1.3 导体的短时发热 .....	171	5.3.1 屋外配电装置的分类 ...	214
4.1.4 短路电流的电动力 .....	175	5.3.2 屋外配电装置的布置 原则 .....	215
4.2 电气设备选择的一般条件 .....	178	5.3.3 屋外配电装置实例 .....	217
4.2.1 按正常工作条件选择 ...	178	5.4 成套配电装置 .....	220
4.2.2 按短路条件校验 .....	179	5.4.1 概述 .....	220
4.3 高压断路器、隔离开关的 选择 .....	181	5.4.2 低压配电装置 .....	220
4.3.1 高压断路器的选择 .....	181	5.4.3 高压开关柜 .....	221
4.3.2 隔离开关的选择 .....	183	5.4.4 SF <sub>6</sub> 全封闭组合电器 .....	223
4.4 高压负荷开关、高压熔断器的 选择 .....	184	5.4.5 成套变电站 .....	224
4.4.1 高压负荷开关的选择 ...	184	本章知识构架 .....	224
4.4.2 高压熔断器的选择 .....	184	阅读材料 .....	224
4.5 互感器的选择 .....	186	习题 .....	225
4.5.1 互感器的配置原则 .....	186	<b>第 6 章 发电厂和变电所的控制与 信号 .....</b>	<b>228</b>
4.5.2 电流互感器的选择 .....	186	本章教学目标与要求 .....	228
4.5.3 电压互感器的选择 .....	188	6.1 发电厂和变电站的控制方式 .....	229
4.6 母线和电缆的选择 .....	189	6.1.1 发电厂的控制方式 .....	229
4.6.1 母线的选择 .....	189	6.1.2 变电站的控制方式 .....	229
4.6.2 电缆的选择与校验 .....	193	6.2 二次接线图 .....	230
4.7 绝缘子的选择 .....	195	6.2.1 概述 .....	230
本章知识构架 .....	197	6.2.2 归总式原理接线图 .....	230
阅读材料 .....	197	6.2.3 展开接线图 .....	234
习题 .....	198	6.2.4 安装接线图 .....	234
<b>第 5 章 配电装置 .....</b>	<b>201</b>	6.3 断路器的控制与信号回路 .....	237
本章教学目标与要求 .....	201	6.3.1 控制开关和操动机构 ...	237
5.1 概述 .....	202	6.3.2 断路器的控制及信号 回路接线图 .....	240
5.1.1 配电装置的分类 .....	202	6.4 中央信号系统 .....	252
5.1.2 配电装置的基本要求及设计 的基本步骤 .....	203	6.4.1 事故信号 .....	252
5.1.3 配电装置的最小安全 净距 .....	204	6.4.2 预告信号 .....	254
5.2 屋内配电装置 .....	207	6.4.3 新型中央信号装置 .....	256
5.2.1 屋内配电装置分类 .....	207	6.5 变电站计算机监控系统 .....	257
5.2.2 屋内配电装置的布置 原则 .....	209	6.5.1 变电站综合自动化 .....	257
5.2.3 屋内配电装置实例 .....	212	6.5.2 变电所计算机监控系统 的功能 .....	258
		6.5.3 变电所综合自动化系统的 结构 .....	260



本章知识构架 .....	263	8.1.3 断路器的异常运行及故障处理 .....	287
阅读材料 .....	263	8.2 隔离开关的运行与维护 .....	294
习题 .....	264	8.2.1 隔离开关的正常巡视检查项目 .....	294
<b>第7章 电力变压器的运行 .....</b>	<b>266</b>	8.2.2 隔离开关异常运行及分析 .....	295
本章教学目标与要求 .....	266	8.2.3 隔离开关的事故处理 .....	296
7.1 变压器的负荷能力 .....	266	8.3 互感器的运行与维护 .....	297
7.1.1 变压器发热时的特点 .....	267	8.3.1 电流互感器的运行及故障处理 .....	297
7.1.2 稳态温升 .....	268	8.3.2 电压互感器的运行及故障处理 .....	298
7.1.3 变压器的绝缘老化 .....	268	8.4 导体与绝缘子的运行与维护 .....	300
7.1.4 变压器的正常过负荷 .....	270	8.4.1 导体的运行与维护 .....	300
7.1.5 变压器的事事故过负荷 .....	273	8.4.2 绝缘子的运行与维护 .....	300
7.2 变压器的运行与维护 .....	274	本章知识构架 .....	301
7.2.1 变压器的投运与停运 .....	274	阅读材料 .....	301
7.2.2 变压器的运行维护 .....	274	习题 .....	302
7.2.3 变压器的异常运行与分析 .....	276	<b>参考答案 .....</b>	<b>303</b>
本章知识构架 .....	280	<b>附录1 电力工程设计常用文字符号 .....</b>	<b>320</b>
阅读材料 .....	280	<b>附录2 常用电气设备数据与系数 .....</b>	<b>326</b>
习题 .....	282	<b>参考文献 .....</b>	<b>340</b>
<b>第8章 设备的运行与维护 .....</b>	<b>284</b>		
本章教学目标与要求 .....	284		
8.1 高压断路器的运行与维护 .....	284		
8.1.1 断路器正常运行的条件 .....	284		
8.1.2 断路器的巡视检查 .....	285		



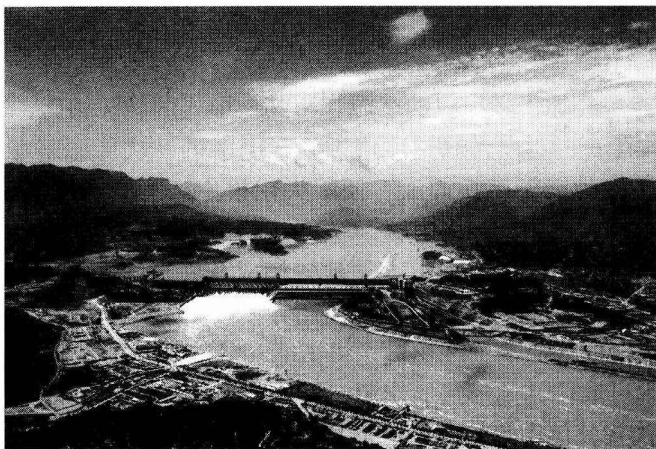
# 第1章

## 绪论



### 本章教学目标与要求

- ✓ 熟悉发电厂、变电所的分类及各自的工作原理；
- ✓ 了解能源的分类及各自的特点；
- ✓ 了解各电气设备的作用；
- ✓ 了解我国电力工业的发展概况。



本章导图 三峡水利枢纽工程图

## 1.1 能源和电能

### 1.1.1 能源分类

能源，顾名思义是能量的来源或泉源，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。





能源的形式多样,具有下述不同的分类方法。

### 1. 按获得方法的不同分类

(1) 一次能源,指自然界中存在的,可直接取得和利用而又不改变其基本形态的能源,例如煤、石油、天然气、水能、风能等。

(2) 二次能源,指由一次能源经加工转换而成的另一种形态的能源,例如电力、蒸汽、煤气、焦炭、汽油等。它们使用方便,易于利用,是高品质的能源。

### 2. 按被利用程度的不同分类

(1) 常规能源,指在一定的历史时期和科学技术水平下,已经被人们广泛利用的能源,例如煤、石油、天然气、水能等。

(2) 新能源,指许多古老的能源,采用先进的方法加以广泛利用,以及用新发展的技术开发的能源,例如太阳能、风能、海洋能、地热能、生物质能、氢能等。核能通常也被看作新能源,这是因为从被利用程度看,它还远不能和已有的常规能源相比。

### 3. 按能否再生分类

(1) 可再生能源,指自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源,例如水能、风能、太阳能、海洋能等。

(2) 非再生能源,指随人类的利用而越来越少,总有枯竭之时的能源,例如煤、石油、天然气、核燃料等。

## 1.1.2 电能

电能是由一次能源经加工转换成的能源。与其他形式的能源相比,其特点如下。

(1) 便于大规模生产和远距离输送。用于生产电能的一次能源来源广泛,可以由煤、石油、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。

(2) 方便转换和易于控制。电能可方便地转换成其他形式的能,例如机械能、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。

(3) 损耗小。输送电能时的损耗比输送机械能和热能都小得多。

(4) 效率高。它可取代其他形式的能源,例如用电动机代替柴油机、用电气机车代替蒸汽机车、用电炉代替其他加热炉等,可提高效率 20%~50%。

(5) 无气体和噪声污染。例如用电瓶车代替汽车、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”。

## 1.1.3 发电厂

将各种一次能源转变成电能的工厂,称为发电厂。按一次能源的不同发电厂分为火力发电厂(以煤、石油和天然气为燃料)、水力发电厂(以水的位能作动力)、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂、潮汐能发电厂等。此外,还有直接将热能转换成电能的磁流体发电等。截至 2002 年年底,全球发电装机容量为 34.65 亿 kW,其中火电占 64.2%,水电占 20.9%,核电占 10.4%。目前我国以火力发电厂为主,其发电量



占全国总发电量的70%以上,多处大型水力发电厂正在加紧建设中,核能发电厂的建设也已取得了重大成绩。下面仅对在国民经济中占重要地位的火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂的生产过程予以介绍。

## 1.2 火力发电厂

火力发电厂简称火电厂,是利用煤、石油或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。

### 1.2.1 分类

(1)按燃料分: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)作为燃料的发电厂;③燃气发电厂,即以天然气、煤气等可燃气体作为燃料的发电厂;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)按蒸汽压力和温度分: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℃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℃的发电厂,单机功率为300MW直至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℃的发电厂,机组功率为600MW、800MW及以上。

(3)按原动机分: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。

(4)按输出能源分:①凝汽式发电厂,即只向外供应电能的发电厂,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发电厂,其效率较高,可达60%~70%。

(5)按发电厂的装机容量分: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及以上的发电厂。

### 1.2.2 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,且主要的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。

火电厂的生产过程概括地说是把煤中含有的化学能转变为电能的过程。整个生产过程可分为3个系统: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,冲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。凝汽式火电厂电能生产过程如图1.1所示。

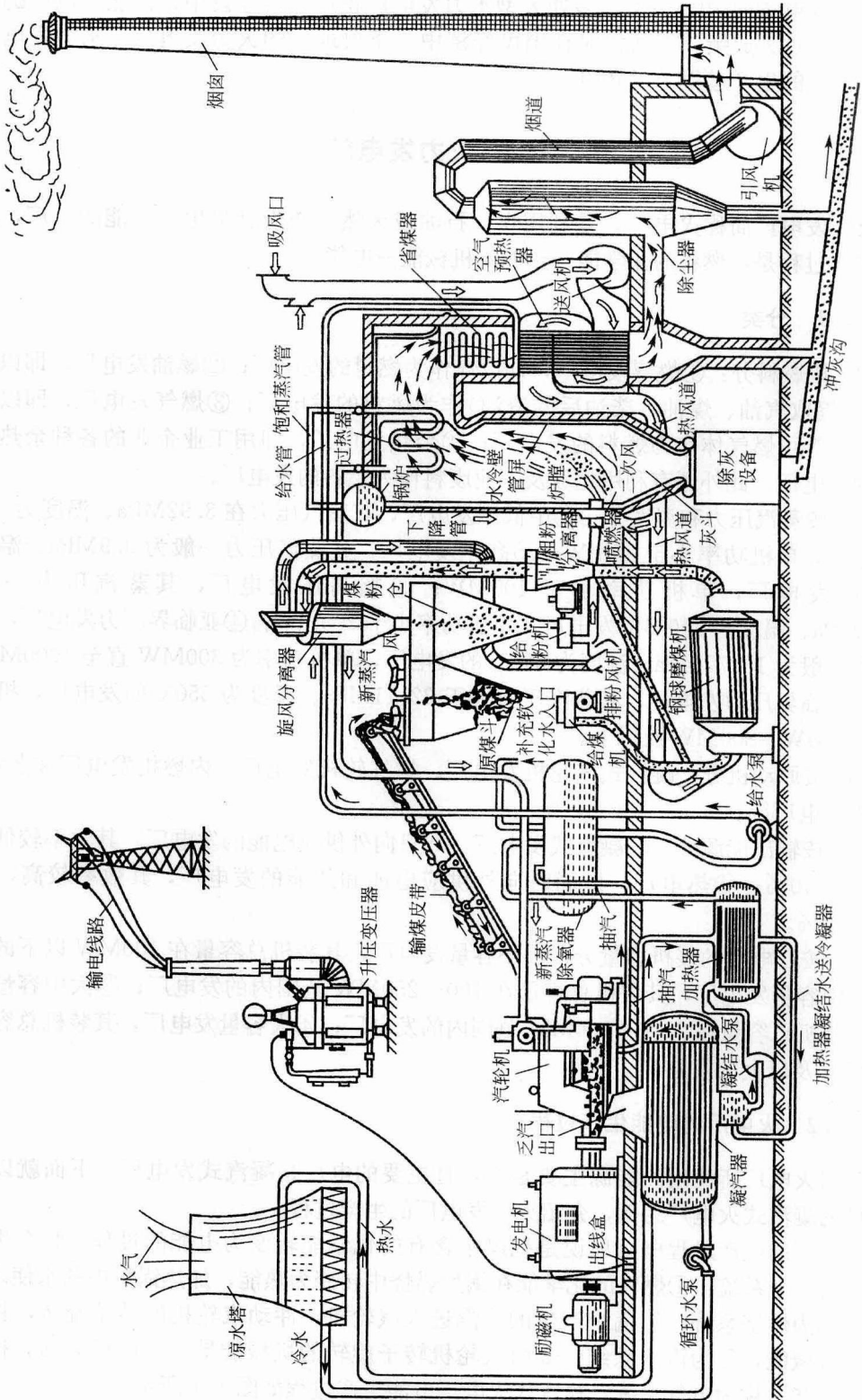


图 1.1 凝汽式火力发电厂电能生产过程示意图



## 1. 燃烧系统

燃烧系统由运煤、磨煤、燃烧、风烟、灰渣等系统组成，其流程如图 1.2 所示。

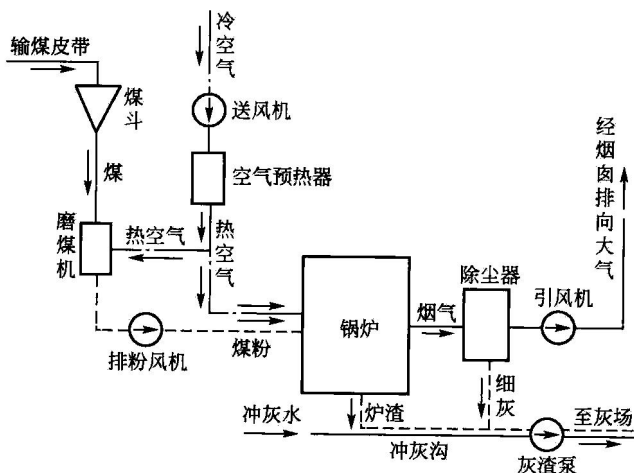


图 1.2 火电厂燃烧系统流程示意图

### 1) 运煤系统

火电厂的用煤量是很大的，装机容量为  $4 \times 30$  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  $360 \times 120 \times 10^4 \times 24 = 10368(\text{t})$ 。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  $40\%$ 。为保证火电厂安全生产，一般要求火电厂储备 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，用输煤皮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，再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。

### 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  $300\text{MW}$  及以上机组为主。 $300\text{MW}$  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； $600\text{MW}$  机组的锅炉为  $2000\text{t}/\text{h}$  的直流炉。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，汽包炉又称为悬浮燃烧炉。在炉的顶端，有储水、储汽的汽包，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  $16.66 \sim 17.64\text{MPa}$  时，水、汽重度差变小，必须在循环回路中加装循



环泵的锅炉，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、排粉风机进入炉壁，另一部分经喷燃器外侧套筒直接进入炉膛。在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，经除尘器收集成细灰排入冲灰沟，燃烧中因结焦形成的大块炉渣，下落到锅炉底部的渣斗内，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。

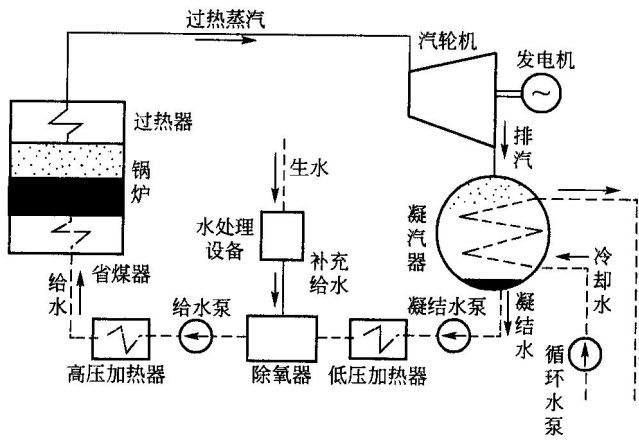


图 1.3 火电厂汽水系统流程示意图

#### 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（称为给水回热循环），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（称为再热循环）。

#### 2) 补充给水系统

在汽水循环过程中难免有汽、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，这些补充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

为了将汽轮机中做过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

火电厂的电气系统，包括发电机、励磁装置、厂用电系统和升压变电站等，如图 1.4 所示。

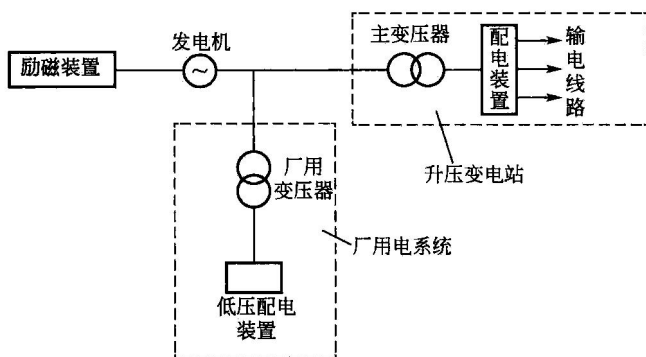


图 1.4 火电厂电气系统示意图

发电机的机端电压和电流随着容量的不同而各不相同，额定电压一般在  $10\sim 20\text{kV}$  之间，而额定电流可达  $20\text{kA}$  及以上。发电机发出的电能，其中一小部分(约占发电机容量的  $4\%\sim 8\%$ )，由厂用变压器降低电压后，经低压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。

### 1.2.3 火电厂的特点

火电厂与水力发电厂和其他类型的发电厂相比，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) 火电厂的一次性建造投资少，仅为同容量水电厂的一半左右。火电厂建造工期短， $2\times 300\text{MW}$  机组，工期为  $3\sim 4$  年。发电设备年利用小时数较高，约为水电厂的  $1.5$  倍左右。

(3) 火电厂耗煤量大，目前发电用煤约占全国煤炭总产量的  $50\%$  左右，加上运煤费用和大量用水，其单位电量发电成本比水电厂要高出  $3\sim 4$  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) 大型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乃至几十小时，并附加耗用大量燃料。例如，一台  $12$  万  $\text{kW}$  发电机组启停一次耗煤可达  $84\text{t}$  之多。

(6) 火电厂担负急剧升降的负荷时，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约  $400\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，而参与调峰煤耗将增至  $468\sim 511\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，

平均增加 22%~29%。

(7) 火电厂担负调峰、调频或事故备用。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) 火电厂对空气和环境的污染大。

## 1.3 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冲动水轮机旋转, 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。我国是世界上水能资源最丰富的国家, 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为 393 亿  $m^3$ , 装机容量为 1820 万 kW, 年平均发电量为 847 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。

### 1.3.1 水电厂的分类

#### 1. 按集中落差大小的不同分类

##### 1) 坝式水电站

在河流上的适当地方建筑拦河坝, 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)。

(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, 水库下泄洪水流量大, 溢洪与发电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滩水电站(总装机容量 330 万 kW, 最大水头 189m)。

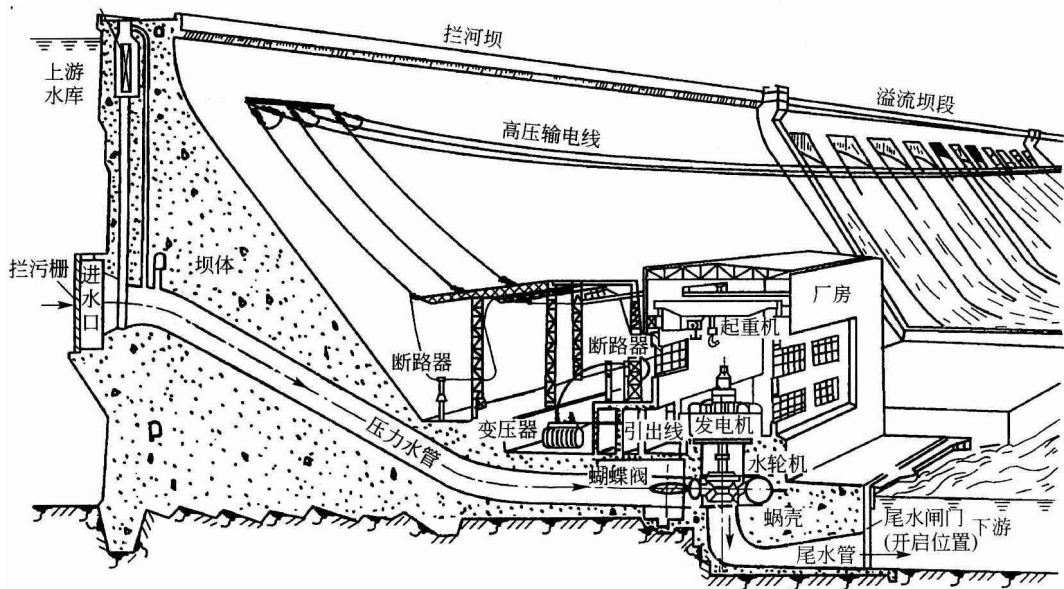


图 1.5 坝后式水电站示意图

(5) 坝内式厂房。坝内式厂房的压力管道和厂房都建在混凝土坝的空腔内，且常设在溢流坝段内，适用于河谷狭窄，下泄洪水流量大的情况。

(6) 河床式厂房。河床式厂房的水电站如图 1.6 所示。其厂房与拦河坝相连接，成为坝的一部分，厂房承受水的压力，适用于水头小于 50m 的水电站。图 1.6 中的溢洪坝、溢洪道是为了渲泄洪水、保证大坝安全的泄水建筑物。如葛洲坝水电厂，全景如图 1.7 所示。（总装机容量 271.5 万 kW，最大水头 27m）。

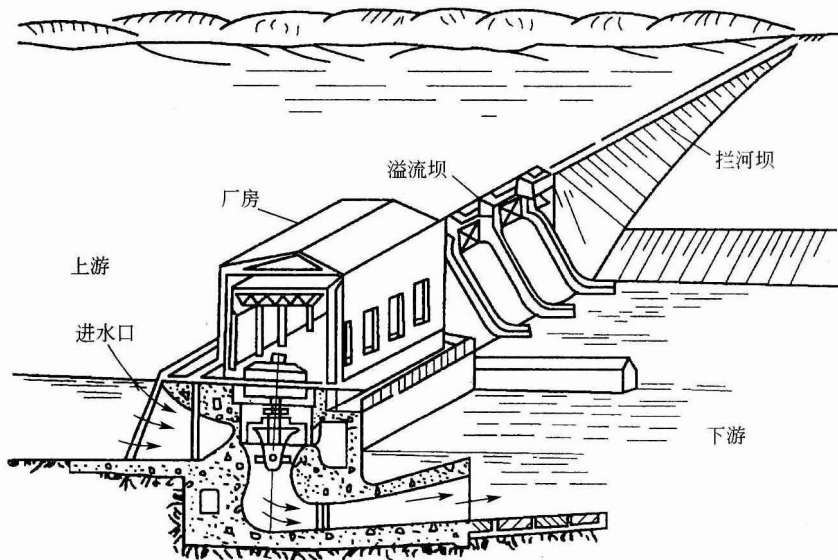


图 1.6 河床式水电站示意图