



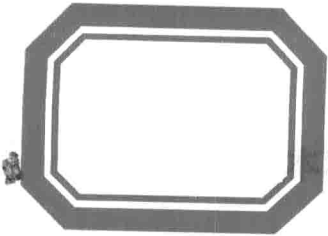
21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

发电厂变电所电气部分 (第2版)

主编 马永翔
李颖峰



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



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 (第2版)

主 编 马永翔 李颖峰



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书以发电厂变电所电气部分为主,着重叙述发电、变电和输电的电气主系统的构成、设计及运行的基本理论和计算方法,同时介绍了主要电气设备的原理和性能。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、所自用电接线,电气设备选择,配电装置,发电厂和变电所的控制与信号,电气设备的运行与维护等。

本书可作为高等学校电气工程类专业本科生的教材,同时亦可供从事发电厂和变电站的电气设计、运行、管理等工作的人员及相关工程技术人员参考使用。

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. —2版. —北京:北京大学出版社,2014.2

(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 978-7-301-23674-1

I. ①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. ①TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 001486 号

书 名: 发电厂变电所电气部分(第2版)

著作责任者: 马永翔 李颖峰 主编

策 划 编 辑: 程志强

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-23674-1/TP·1318

出 版 发 行: 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> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

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

印 刷 者: 北京富生印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.75 印张 525 千字

2014 年 2 月第 2 版 2014 年 2 月第 1 次印刷 2010 年 1 月第 1 版

定 价: 48.00 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 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

第 2 版前言

本书是在 2010 年 1 月出版的《发电厂变电所电气部分》一书的基础上, 根据目前电气设备的发展、运行工况的变化及兄弟院校教学成果等方面进行了修订。为了保证内容的完整性, 在第 2 版的修订过程中, 采用了 7 章的编写体例, 并具有以下显著特点。

在内容上做了大量的修改与完善, 主要体现在以下方面: ①根据国内外目前电力系统的发展及运行现状, 删去目前系统已淘汰的油断路器的原理及相关内容的介绍; ②删除了低压电器原理的内容, 精简了复合绝缘子的内容; ③补充了直流电弧的燃、熄机理及灭弧措施, 从而满足从事直流输变电生产及运行工作人员的要求; ④对电气主接线编写体例进行了调整, 补充了 GIS 的设计, 目前编排更合理, 便于教学; ⑤将第 1 版中第 7、8 章合并, 充实了 GIS 运行的内容; ⑥更新了有关电力系统发展的数据, 从而准确反映目前生产一线状况; ⑦根据每章内容调整, 充实了相应的习题, 且更注重对生产一线知识的反映, 从而体现实用性。

在形式上, 每章给出了该章的知识构架、教学目标与要求及与该章内容相关的阅读材料, 从而体现可读性。

书末附有习题的参考答案, 以便读者学习和理解。

本书由马永翔编写第 1、2、3 章, 闫群民编写第 4 章, 杨琳霞编写第 5 章, 郭云玲编写第 6 章及附录部分, 李颖峰编写第 7 章及答案部分。全书由马永翔统稿。

本书承蒙清华大学董新洲教授、施慎行副教授主审, 他们在审阅过程中提出了许多更合理的意见和建议, 在此表示衷心的感谢!

在编写本书的过程中, 编者参阅了许多国内兄弟单位的相关资料, 还得到了电力系统有关部门的帮助, 在此一并表示深切谢意!

由于编者水平和实践经验有限, 书中疏漏和不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 11 月

第 1 版前言

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。

本书由马永翔编写第 1、2 章及参考答案部分，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。全书由陕西理工学院马永翔统稿。

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

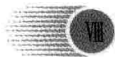
第 1 章 绪论	1	第 2 章 电气设备的结构与工作原理 ...	32
1.1 能源和电能	2	2.1 电弧的产生及物理过程	33
1.1.1 能源分类	2	2.2 直流电弧的基本特性	35
1.1.2 电能	3	2.2.1 直流电弧的静态伏安特性 ...	35
1.1.3 发电厂	3	2.2.2 直流电弧的动态伏安特性 ...	36
1.2 火力发电厂	3	2.2.3 直流电弧的能量与燃弧 时间	37
1.2.1 分类	3	2.2.4 直流电弧熄灭时的过电压 ...	38
1.2.2 火电厂的电能生产过程	4	2.3 直流电弧的燃烧与熄灭	39
1.2.3 火电厂的特点	8	2.3.1 直流电弧的熄灭条件	39
1.3 水力发电厂	9	2.3.2 直流电弧的熄灭原理	41
1.3.1 水电厂分类	9	2.3.3 常用直流电弧熄灭方法及 措施	42
1.3.2 水电厂的特点	12	2.4 交流电弧的燃烧与熄灭	44
1.3.3 抽水蓄能电厂	13	2.4.1 交流电弧电流的过零现象 ...	44
1.4 核能发电厂	14	2.4.2 交流电弧的伏安特性	45
1.4.1 核电厂的分类	15	2.4.3 交流电弧电流的零休现象 ...	47
1.4.2 核电厂的系统	17	2.5 交流电弧的熄灭原理	49
1.4.3 核电厂的运行	18	2.5.1 交流电弧的熄灭条件	49
1.5 新能源发电	19	2.5.2 熄灭交流电弧的基本方法 ...	51
1.5.1 风力发电	19	2.6 电气触头	54
1.5.2 太阳能发电	21	2.6.1 触头材料的要求	54
1.6 变电所类型	22	2.6.2 触头材料的分类	55
1.7 发电厂和变电所电气设备简述	23	2.6.3 不同材料的最小起弧电压 和电流	59
1.7.1 电气一次设备	23	2.6.4 触头材料的选用原则	60
1.7.2 电气二次设备	26	2.6.5 触头材料的发展趋势	61
1.7.3 电气主接线和配电装置的 概念	26	2.7 高压断路器概述	61
1.8 我国电力工业发展概况	27	2.7.1 高压断路器的分类	61
1.8.1 电力工业加速发展, 全国 装机容量突破 11 亿 kW ...	27	2.7.2 断路器的技术参数	62
1.8.2 发展大机组, 建设大电厂 ...	27	2.7.3 对断路器的基本要求	63
1.8.3 发展特高压、建设大电网, 全国联网格局基本形成 ...	29	2.7.4 断路器的型号表示法	64
1.8.4 电网保护、控制、自动化 技术进入国际行列	30	2.7.5 高压断路器的典型结构 ...	64
习题	31	2.8 SF ₆ 断路器	65
		2.8.1 SF ₆ 气体的性能	65
		2.8.2 SF ₆ 断路器的特点	66

2.8.3 SF ₆ 断路器的分类	66	2.16.6 光电式互感器简介	118
2.8.4 SF ₆ 断路器灭弧室工作 原理	66	习题	120
2.8.5 SF ₆ 断路器结构	70	第3章 电气主接线与厂、所自用 电接线	123
2.9 真空断路器	74	3.1 电气主接线的基本要求	124
2.9.1 真空气体的特性	74	3.1.1 对电气主接线的基本 要求	125
2.9.2 灭弧室结构和工作原理	75	3.1.2 电气主接线的基本形式	126
2.9.3 真空断路器的调整与维修	78	3.2 单母线接线	126
2.10 高压断路器的操动机构	79	3.2.1 单母线不分段接线	126
2.10.1 概述	79	3.2.2 单母线分段接线	128
2.10.2 操动机构的分类	79	3.2.3 带旁路母线的单母线 接线	129
2.11 隔离开关	82	3.2.4 带旁路母线接线的单母线 分段	130
2.11.1 隔离开关的用途与分类	82	3.3 双母线接线	131
2.11.2 屋内隔离开关	83	3.3.1 普通双母线接线	131
2.11.3 屋外隔离开关	83	3.3.2 双母线分段接线	133
2.11.4 隔离开关操动机构	84	3.3.3 双母线带旁路母线接线	134
2.12 绝缘与绝缘子	85	3.3.4 一台半断路器双母线接线 (3/2 接线)	136
2.12.1 绝缘	85	3.4 无母线接线形式	138
2.12.2 绝缘子	86	3.4.1 单元接线	138
2.12.3 复合绝缘子	88	3.4.2 桥形接线	138
2.13 母线	89	3.4.3 角形接线	140
2.13.1 母线材料	89	3.5 发电厂和变电所主变压器的选择	141
2.13.2 敞露母线	90	3.5.1 主变压器容量、台数的 选择	141
2.13.3 封闭母线	91	3.5.2 主变压器型式的选择	143
2.14 电力电缆	93	3.6 限制短路电流的措施	146
2.14.1 电缆分类	93	3.6.1 加装限流电抗器	146
2.14.2 结构及性能	94	3.6.2 采用低压分裂绕组 变压器	149
2.14.3 常用电缆中间接头盒和终端 接头盒的结构及性能	95	3.6.3 选择适当的主接线形式和 运行方式	150
2.15 电抗器	97	3.7 各类发电厂、变电所主接线的 特点及实例	151
2.15.1 限流电抗器	97	3.7.1 火力发电厂电气主接线	151
2.15.2 串联电抗器和并联 电抗器	99	3.7.2 水电站的主接线	153
2.16 互感器	101	3.7.3 变电所电气主接线	155
2.16.1 概述	101		
2.16.2 电磁式电流互感器	102		
2.16.3 电磁式电压互感器	110		
2.16.4 电容分压式电压互感器 (CCVT)	115		
2.16.5 互感器的配置原则	117		

3.8 电气主接线的设计原则和程序	156	5.1.1 配电装置的分类	208
3.8.1 主接线的设计原则	156	5.1.2 配电装置的基本要求及 设计的基本步骤	209
3.8.2 电气主接线的设计程序	156	5.1.3 配电装置的最小安全 净距	210
3.8.3 电气主接线的设计举例	158	5.2 户内配电装置	214
3.9 GIS的主接线及设计	161	5.2.1 户内配电装置分类	214
3.9.1 GIS的特点	161	5.2.2 户内配电装置的布置 原则	214
3.9.2 GIS主接线的基本形式	161	5.2.3 户内配电装置实例	218
3.9.3 GIS主接线设计	162	5.3 户外配电装置	220
3.9.4 GIS配电装置的布置	163	5.3.1 户外配电装置的分类	220
3.9.5 GIS设备的保护与接地	164	5.3.2 户外配电装置的布置 原则	221
3.10 自用电及接线	166	5.3.3 户外配电装置实例	223
3.10.1 概述	166	5.4 成套配电装置	227
3.10.2 厂用电接线	168	5.4.1 概述	227
3.10.3 变电所的自用电接线	169	5.4.2 低压配电装置	227
习题	172	5.4.3 高压开关柜	227
第4章 电气设备选择	174	5.4.4 SF ₆ 全封闭组合电器	229
4.1 载流导体的发热和电动力	175	5.4.5 成套变电站	230
4.1.1 概述	175	5.5 发电厂变电站配电装置设计	231
4.1.2 导体的长期发热	176	5.5.1 配电装置设计的基本 步骤	231
4.1.3 导体的短时发热	179	5.5.2 设计要求	231
4.1.4 短路电流的电动力	183	5.5.3 形式选择及辅助装置 配置	233
4.2 电气设备选择的一般条件	186	5.5.4 发电厂电气总平面布置	234
4.2.1 按正常工作条件选择	187	5.5.5 变电站电气总平面布置	236
4.2.2 按短路条件校验	188	习题	237
4.3 高压断路器、隔离开关的选择	190	第6章 发电厂和变电所的控制与 信号	240
4.3.1 高压断路器的选择	190	6.1 发电厂和变电站的控制方式	241
4.3.2 隔离开关的选择	192	6.1.1 发电厂的控制方式	241
4.4 互感器的选择	193	6.1.2 变电站的控制方式	242
4.4.1 互感器的配置原则	193	6.2 二次接线图	242
4.4.2 电流互感器的选择	193	6.2.1 概述	242
4.4.3 电压互感器的选择	195	6.2.2 归总式原理接线图	243
4.5 母线和电缆的选择	196	6.2.3 展开接线图	246
4.5.1 母线的选择	196	6.2.4 安装接线图	246
4.5.2 电缆的选择与校验	200		
4.6 绝缘子的选择	202		
习题	205		
第5章 配电装置	207		
5.1 概述	208		



6.3 断路器的控制与信号回路	249	7.2.1 断路器正常运行的条件.....	290
6.3.1 控制开关和操动机构	249	7.2.2 断路器的巡视检查	291
6.3.2 断路器的控制及信号回路 接线图	252	7.2.3 断路器的异常运行及故障 处理	293
6.4 中央信号系统	264	7.3 隔离开关的运行与维护	298
6.4.1 事故信号	264	7.3.1 隔离开关的正常巡视检查 项目	298
6.4.2 预告信号	266	7.3.2 隔离开关异常运行及 分析	299
6.4.3 新型中央信号装置	268	7.3.3 隔离开关的事故处理	300
6.5 变电站计算机监控系统	269	7.4 互感器的运行与维护	300
6.5.1 变电站综合自动化	269	7.4.1 电流互感器的运行及故障 处理	300
6.5.2 变电所计算机监控 子系统的功能	270	7.4.2 电压互感器的运行及故障 处理	302
6.5.3 变电所综合自动化系统的 结构	272	7.5 导体与绝缘子的运行与维护	303
习题	276	7.5.1 导体的运行与维护	303
第7章 电气设备的运行与维护	278	7.5.2 绝缘子的运行与维护	304
7.1 变压器运行	279	7.6 GIS的运行与维护	304
7.1.1 概述	279	7.6.1 气体泄漏检测及处理	304
7.1.2 变压器发热时的特点	279	7.6.2 水分控制和处理	305
7.1.3 稳态温升	280	习题	308
7.1.4 变压器的绝缘老化	281	参考答案	311
7.1.5 变压器的正常过负荷	283	附录1 电力工程设计常用文字符号	328
7.1.6 变压器的事过负荷	283	附录2 常用电气设备数据与系数	334
7.1.7 变压器的投运与停运	284	参考文献	348
7.1.8 变压器的运行维护	285		
7.1.9 变压器的异常运行与 分析	286		
7.2 高压断路器的运行与维护	290		

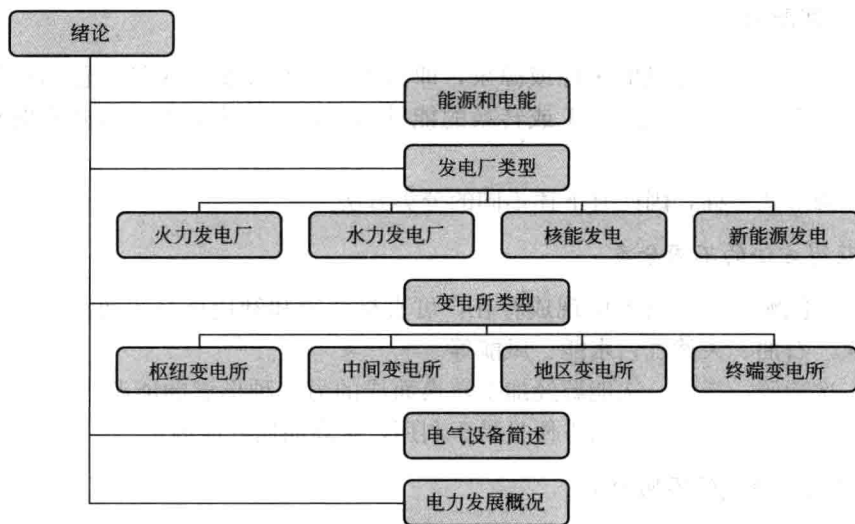


第1章

绪论



本章知识构架



本章教学目标与要求

- ✓ 熟悉发电厂、变电所的分类及其各自的工作原理;
- ✓ 了解能源的分类及其各自的特点;
- ✓ 了解主要电气设备的作用;
- ✓ 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。

由于能源形式多样,因此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,指自然界中现成存在,可直接取得和利用而又不改变其基本形态的能源,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,如电力、蒸汽、煤气、焦炭、汽油等,它们使用方便且易于利用,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,如煤、石油、天然气、水能等。

(2) 新能源,指采用先进的方法加以广泛利用的许多古老的能源,以及用新发展的技术开发的能源,如太阳能、风能、海洋能、地热能、生物质能、氢能等。核能通常也被看成是新能源,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,如水能、风能、太阳能、海洋能等。

(2) 非再生能源,指随着人类的利用而越来越少,总有枯竭之时的能源,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,它具有如下特点。

(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广泛,它可以由煤、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,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,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)、核能发电厂以及风力发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂、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2012年底,全国发电装机容量达到11.4亿kW,年发电量4.94亿kW·h,同比增长7.8%;其中水电装机2.49亿kW(含抽水蓄能2031万kW),占全部装机容量的21.7%,风电装机6300万kW,均居世界第一,火电81917万kW(含煤电75811万kW、气电3827万kW),占全部装机容量的71.5%;核电1257万kW,并网太阳能发电328万kW。

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. 按使用燃料不同分类

(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,还有利用垃圾和工业废料作为燃料的发电厂。

2. 按蒸汽压力和温度不同分类

(1) 中低压发电厂,指蒸汽压力在 3.92MPa、温度为 450℃的发电厂,单机功率小于 25MW。

(2) 高压发电厂,指蒸汽压力一般为 9.9MPa、温度为 540℃的发电厂,单机功率小于 100MW。

(3) 超高压发电厂,指蒸汽压力一般为 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,指蒸汽压力一般为 16.77MPa、温度为 540/540℃的发电厂,单机功率为 300MW 直至 1 000MW 不等。

(5) 超临界压力发电厂,指蒸汽压力大于 22.11MPa、温度为 550/550℃的发电厂,机组功率为 600MW、800MW 及以上。

3. 按原动机不同分类

按原动机不同,火电厂可分为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. 按输出能源不同分类

(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. 按发电厂装机容量的不同分类

(1) 小容量发电厂,指装机总容量在 100MW 以下的发电厂。

(2) 中容量发电厂,指装机总容量在 100~250MW 范围内的发电厂。

(3) 大中容量发电厂,指装机总容量在 250~1 000MW 范围内的发电厂。

(4) 大容量发电厂,指装机总容量在 1 000MW 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。

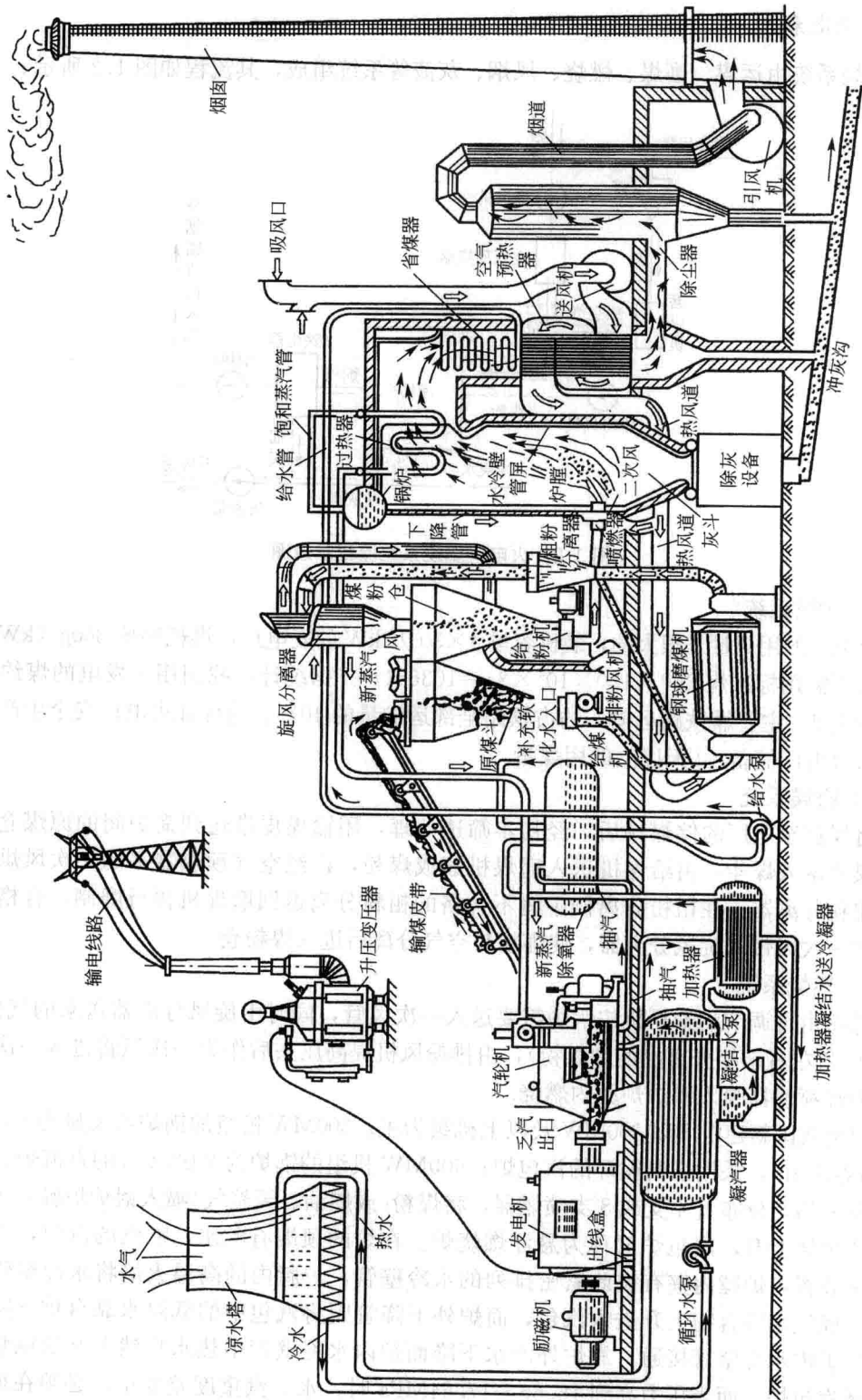


图 1.1 凝汽式火力发电厂电能生产过程示意图

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。

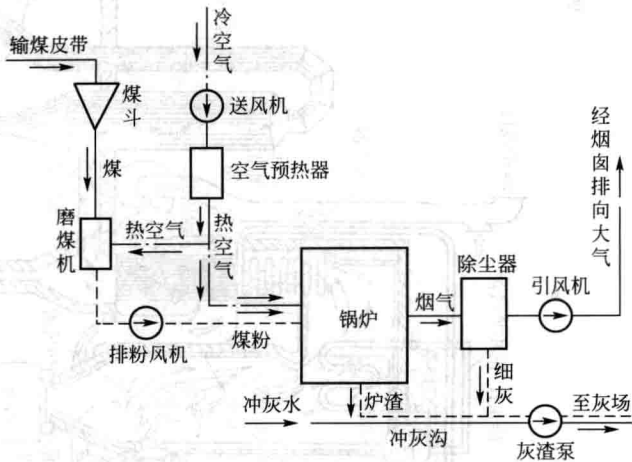


图 1.2 火电厂燃烧系统流程示意图

1) 运煤系统

火电厂的用煤量是很大的,装机容量 4×30 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 300MW 及以上机组为主。 300MW 机组的锅炉蒸发量为 $1\,000\text{t/h}$ (亚临界压力),采用强制循环的汽包炉; 600MW 机组的锅炉为 $2\,000\text{t/h}$ 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 $16.66 \sim 17.64\text{MPa}$ 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。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，经碎渣机破碎后也排入冲灰沟，再经灰渣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。

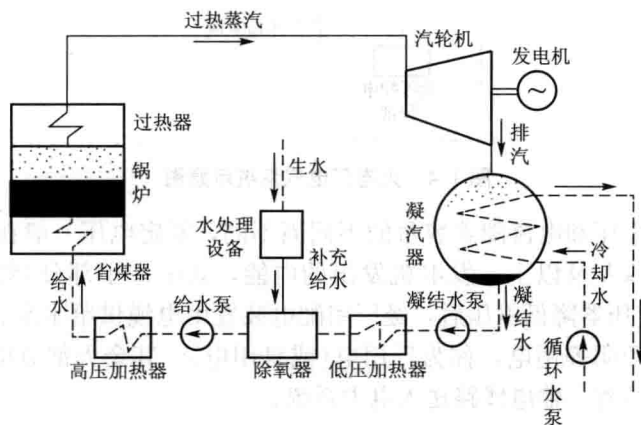


图 1.3 火电厂汽水系统流程示意图

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

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。

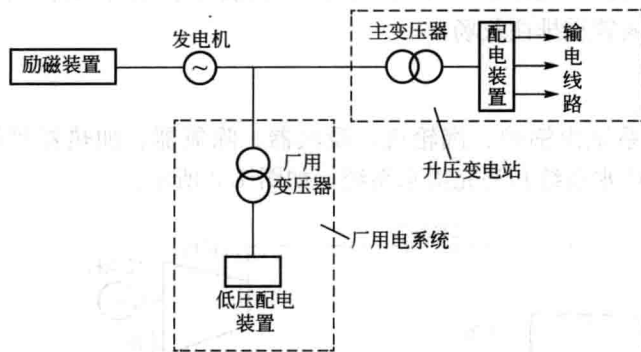


图 1.4 火电厂电气系统示意图

发电机的机端电压和电流随着容量的不同而不同,额定电压一般在 $10\sim 20\text{kV}$ 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(约占发电机容量的 $4\%\sim 8\%$)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。
- (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 kW 发电机组启停一次耗煤可达 84t 之多。