



熊静雯 宋卫国 编

电力企业 安全生产



 化学工业出版社

电力企业 安全生产

»»»» 熊静雯 宋卫国 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书根据国家相关法律法规和国家电网系统制定的行业标准与规范,遵循电力生产和传输企业安全管理标准化、规范化工作要求编写。本书在简要介绍电力生产基本知识的基础上,从电力企业安全生产管理知识、基层班组安全建设、电力生产中常见安全隐患、安全事故应急处理几个方面对新职工和外来实习、务工人员必须具备的安全生产知识和技能进行了较为详细的讲解,对相关人员了解电力安全管理的内容和指导现场应急工作提供了指南。

本书适合电力企业对各级安全与生产管理人员、现场操作和施工人员,尤其对新上岗职工进行安全培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力企业安全生产/熊静雯,宋卫国编. —北京:化学工业出版社,2015.4
ISBN 978-7-122-23057-7

I. ①电… II. ①熊…②宋… III. ①电力工业-安全生产-基本知识 IV. ①TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 034108 号

责任编辑:李玉晖 杨 菁
责任校对:王素芹

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市万龙印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张10¼ 字数227千字 2015年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:30.00 元

版权所有 违者必究

随着《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国电力法》、《电力安全生产监督管理办法》、《电力建设安全生产监督管理办法》、国家标准《电力安全工作规程》、国家电网公司《电力建设起重机械安全监督管理办法》、国家电力公司《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》和《电力安全事故应急处置和调查处理条例》等一系列法规制度的相继颁布实施,对电网企业强化安全生产法制化管理和监督提出了新的目标。另外,国民经济各个行业的发展以及人民生活水平的不断提高,对电力的消耗和稳定有效供给也提出了更高的要求。

电网企业正处于快速发展时期,自动化控制水平不断提高,电力行业的外来务工、实习人员以及新招聘的职工也越来越多,他们的安全意识和规范化操作技能对电网的安全运行、自身安全的保障尤为重要。加强对这些员工进行系统的安全培训和技能训练是每个电力企业必须严格把关的首要工作。

电力生产和输送的安全管理是一个系统工程,坚持“安全第一、预防为主、综合治理”的方针,保障电力生产和供给一直处于“可控、在控、能控”的安全状态,是国家电网公司安全管理的重要指导思想。

在保障安全生产的各要素中,人的安全因素自始至终都是第一位的。因此,与电力生产和传输过程相关联的所有职员的安全意识和规范化操作技能是电网安全的先决条件。这些意识和技能的获得启蒙于安全培训,强化于操作训练之中。因此,各个电力企业在对职工进行安全培训时,都想要选择一本内容深度和广度合适、相对于现场安全控制管理简明实用的教材,鉴于此,笔者编写了这本《电力企业安全生产》职工培训教程。

本书首先简要介绍了电力生产基本知识和我国的电力发展状况,让受训人员对电力生产和传输过程中的技术原理有初步的认识;然后,在此基础上,对电力企业安全生产知识与管理、电力企业班组的安全建设、电力生产中常见的安全隐患、发生安全事故时(后)的应急处理常识、几个实用性极高的安全生产知识和技能进行了较为详细的叙述,以期紧密结合电力企业安全管理的实际,着眼于够用、易掌握、可操作,不追求内容的全面、丰富,具有指导性和可操作性强的特点。本书可供电力企业人事教育部门、安全监察部门、车间班组的安全教育培训时选用,也可作为相关专业学生进厂实习的安全培训用书。

由于笔者的学识水平有限,成稿时间仓促,书中难免存在疏漏和不妥之处,在此恳请各位行业专家和读者不吝指正,提出宝贵的修改意见,以便在后续的再版中及时改进、完善,谨致以诚挚的感谢!

第1章 电力生产知识概述

1

1.1 电力生产相关知识	1
1.1.1 我国电力生产的主要类型	1
1.1.2 火力发电的流程与设备	4
1.1.3 水力发电的流程与设备	8
1.1.4 风力发电的流程与设备	13
1.1.5 核能发电的流程与设备	16
1.1.6 太阳能发电的流程与设备	18
1.2 电力的传输与使用	19
1.2.1 我国电力网的构成	19
1.2.2 发电系统	20
1.2.3 输变电系统	20
1.2.4 配电系统	21
1.2.5 电力的使用	21
1.3 我国电力生产概况与发展趋势	21
1.3.1 我国经济与电力发展情况	22
1.3.2 电力行业竞争格局	24
1.3.3 我国中长期电力规模及结构预测	25
1.3.4 我国电力供应的发展趋势	26

第2章 电力企业安全生产知识与管理

28

2.1 电力企业安全生产管理体系	28
2.1.1 电力企业的安全保障体系	28
2.1.2 电力企业的安全监督体系	31
2.1.3 电力企业的安全培训与安全文化建设	33
2.1.4 电力企业安全管理的例行工作	37
2.1.5 电力企业安全管理的工作要求	39
2.2 电力企业安全生产规章制度	40
2.2.1 电力安全生产和电力建设安全生产监督管理办法	40
2.2.2 电力安全工作规程	43
2.2.3 电力企业安全生产责任制	43
2.2.4 职工作息与考勤制度	45

2.3 电力企业典型工作岗位安全生产技术	45
2.3.1 安全色标与安全标志	45
2.3.2 发电岗位安全生产技术	48
2.3.3 送变电岗位安全生产技术	57
2.3.4 电力施工岗位安全生产技术	57

第3章 电力企业生产中的班组安全建设

61

3.1 班组安全责任制与管理	61
3.1.1 车间班组在企业安全生产中的作用	61
3.1.2 电力企业班组安全责任制	63
3.1.3 班组安全生产管理中的“两票三制”	65
3.1.4 工伤事故的调查、分析、报告、处理制度	71
3.2 班组安全教育与文化建设	74
3.2.1 安全生产例会制度	74
3.2.2 安全生产意识和习惯的养成	76
3.2.3 班组安全生产管理	79
3.2.4 安全文明生产（施工）现场管理	81
3.3 班组安全例行工作与标准化建设	84
3.3.1 电力生产、传输的安全运行和管理	84
3.3.2 电力生产作业活动的组织与跟踪方法	87
3.3.3 班组安全管理的例行工作	88

第4章 电力生产过程中常见的安全隐患

90

4.1 电力企业危险识别及其预控	90
4.1.1 电力生产过程危险点分析与识别	90
4.1.2 电力生产过程危险点风险管理	94
4.1.3 电力生产过程危险预控	96
4.2 带电作业中的安全隐患	100
4.2.1 带电作业事故的诱因	101
4.2.2 带电作业的风险管理	103
4.2.3 带电作业安全操作规程	104
4.2.4 电气意外误操作隐患	115
4.3 高处作业中的安全隐患	117
4.3.1 高处作业中的常见意外事故	117
4.3.2 导致高处作业事故的安全隐患	118
4.3.3 高处作业的风险管理	119
4.4 起重搬运过程中的安全隐患	121
4.4.1 电力生产起重过程中的安全隐患	121
4.4.2 电力生产搬运过程中的安全隐患	123

4.4.3 电力生产重大设备安装中的安全隐患	125
------------------------------	-----

第5章 安全事故的应急处理

126

5.1 国家电力安全事故应急处置和调查处理条例简介	126
5.1.1 对事故的报告	127
5.1.2 对事故的应急处置	127
5.1.3 对事故的调查处理	128
5.1.4 法律责任	129
5.2 触电事故的应急处理	129
5.2.1 电流对人体的伤害	129
5.2.2 触电事故的现场应急措施	130
5.2.3 应急注意事项	130
5.3 高处坠落事故的应急处理	131
5.3.1 高处坠落事故的特征及易发地点	131
5.3.2 高处坠落事故的现场应急处置程序	132
5.3.3 高处坠落事故的现场救治措施	133
5.3.4 及时预防事项	134
5.4 机械创伤及物体打击事故的应急处理	134
5.4.1 对事件危险性的分析和辨症	134
5.4.2 机械创击事故的现场应急措施	135
5.4.3 机械创击事故的预防和善后	136
5.5 水灾、火灾的应急处理	137
5.5.1 溺水的应急处理	137
5.5.2 火灾事故应急处理	140
5.6 化学品事故的应急处理	143
5.6.1 化学危险品可能引起的伤害和预防	144
5.6.2 发生化学品事故时的应急措施	147
5.6.3 身处化学品事故现场的防护要点	148
5.7 交通事故的应急处理	149
5.7.1 形成交通事故的风险分析	149
5.7.2 交通事故应急处理程序和处置措施	150
5.8 发生事故后的一般处理程序与工伤的认定	151
5.8.1 电力安全事故的一般处理程序	151
5.8.2 伤认定程序	153

附录 我国有关电力安全生产的主要法律法规目录

157

参考文献

158



第1章

电力生产知识概述



1.1 电力生产相关知识

1.1.1 我国电力生产的主要类型

我国目前电力生产的主要有以下几种类型：火力发电、水力发电、风力发电、核能发电、太阳能发电、地热发电以及燃气-蒸汽联合循环发电等。

1.1.1.1 火力发电

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。它的基本生产过程是：燃料在锅炉中燃烧加热水使之成蒸汽，将燃料的化学能转换成热能，蒸汽压力推动汽轮机旋转，热能转换成机械能，然后汽轮机带动发电机旋转，将机械能转换成电能。

火力发电按照以下不同的分类方法可分为不同的类型。①按燃料分为燃煤发电厂、燃油发电厂、燃气发电厂、余热发电厂和以垃圾及工业废料为燃料的发电厂；②按原动机分为凝汽式汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂、蒸汽-燃气轮机发电厂等；③按输出能源分为凝汽式发电厂（只发电）和热电厂（发电兼供热）；④按蒸汽压力和温度分为低温低压电厂（1.4MPa，350℃）、中温中压发电厂（3.92MPa，450℃）、高温高压发电厂（9.9MPa，540℃）、超高压发电厂（13.83MPa，540℃）、亚临界压力发电厂（16.77MPa，540℃）、超临界压力发电厂（22.11MPa，550℃）、超超临界压力发电厂（31MPa，600℃）；⑤按发电厂装机容量分为小容量发电厂（100MW以下）、中容量发电厂（100~250MW）、大中容量发电厂（250~1000MW）、大容量发电厂（1000MW以上）。

1.1.1.2 水力发电

水力发电（hydroelectric power）系利用河流、湖泊等位于高处具有势能的水流至低处，将其中所含势能转换成水轮机之动能，再借水轮机为原动力，推动发电机产生电能。利用水力（具有水头）推动水力机械（水轮机）转动，将水能转换为机械能，如果在水轮机上接上另一种机械（发电机）随着水轮机转动就可发电，这时机械能又转换为电能。水力发电在某种意义上就是水的位能转换成机械能，再转换成电能

的过程。因水力发电厂所发出的电力电压较低,如果要输送给距离较远的用户,就必须将电压经过变压器增高,再由架空输电线路输送到用户集中区的变电所,最后降低为适合家庭用户、工厂用电设备的电压,并由配电线输送到各个工厂及家庭。

水力发电的原理是将水能转换为电能,所用的“原料”是河流、湖泊里的高位水。水力发电按照以下不同的分类方法可分为不同的类型。①按集中落差的方式分为堤坝式水电站、引水式水电站、混合式水电站、潮汐水电站和抽水蓄能电厂;②按径流调节的程度分为无调节水电站和有调节水电站;③按照水源的性质,一般称为常规水电站,即利用天然河流、湖泊等水源发电;④按水电站利用水头的大小分为高水头(70m以上)、中水头(15~70m)和低水头(低于15m)水电站;⑤按水电站装机容量的大小分为大型、中型和小型水电站(一般将装机容量在5000kW以下的称为小水电站,5000~100000kW的称为中型水电站,10万千瓦或以上的称为大型水电站或巨型水电站)。

在2011年,全球水力发电厂的装机容量为970GW^①,向全球提供约34000亿千瓦时(3400TW·h)^②电力,占可再生能源电力的75.9%。

1.1.1.3 风力发电

风很早就被人们利用——主要是通过风车来抽水、磨面……如今人们感兴趣的首先是如何利用风来发电。风力发电的原理是利用风力带动风车叶片旋转,再透过增速机将旋转的速度提升,由发电机转换成电能。依据目前的风车技术,大约是每秒3米的风速(微风的程度)便可以开始发电。

风是一种潜力很大的新能源。18世纪初,横扫英法两国的一次狂暴大风,吹毁了四百座风力磨坊、八百座房屋、一百座教堂、四百多条帆船,并有数千人受到伤害,二十五万株大树连根拔起。仅就拔树一事而论,风在数秒钟内就发出了约为 $7.35 \times 10^3 \text{ MW}$ 的功率!有人估计过,地球上可用来发电的风力资源约有100亿千瓦,几乎是现在全世界水力发电量的10倍。目前全世界每年燃烧煤所获得的能量,只有风力在一年内所能提供能量的三分之一。

一般三级风就有利用的价值。但从经济合理的角度出发,风速大于每秒4米才适宜于发电。因风量不稳定,风力发电机输出的是13~25V变化的交流电,须经充电器整流,再对蓄电池充电,使风力发电机产生的电能转换成化学能。然后用有保护电路的逆变电源,把蓄电池里的化学能转换成220V的交流电,才能保证稳定使用。

据测定,当风速为9.5m/s时,一台风力发电机组的输出功率为55kW;当风速8m/s时,功率为38kW;当风速6m/s时,功率只有16kW;当风速5m/s时,功率仅为9.5kW。据了解,目前国外已生产出了15kW、40kW、45kW、100kW、225kW的风力发电机。

尽管风力发电机多种多样,但归纳起来可分为两类。

- ① 水平轴风力发电机,风轮的旋转轴与风向平行;
- ② 垂直轴风力发电机,风轮的旋转轴垂直于地面或者气流方向。

① $1\text{GW}=10^3\text{MW}=10^6\text{kW}$

② $1\text{TW}\cdot\text{h}=10^9\text{kW}\cdot\text{h}$

1.1.1.4 核能发电

核能发电 (nuclear electric power generation) 是利用核反应堆中核裂变所释放出的热能进行发电的。它与火力发电相似,是以核反应堆及蒸汽发生器来代替火力发电的锅炉,以核裂变能代替矿物燃料的化学能。除沸水堆(即轻水堆的一种)外,其他类型的动力堆都是一回路的冷却剂通过堆心加热,在蒸汽发生器中将热量传给二回路或三回路的水,然后形成蒸汽推动汽轮发电机。沸水堆则是一回路的冷却剂通过堆心加热变成 70atm (约为 7.07×10^6 Pa) 左右的饱和蒸汽,经汽水分离并干燥后直接推动汽轮发电机。

核能发电的能量来自核反应堆中可裂变材料(核燃料)进行裂变反应所释放的裂变能。裂变反应指铀-235、钚-239、铀-233 等重元素在中子作用下分裂成两个碎片,同时释放出中子和大量能量的过程。反应中,可裂变物的原子核吸收一个中子后发生裂变并释放出两三个中子。若这些中子除去消耗,至少有一个中子能引起另一个原子核裂变,使裂变自动持续地进行,则这种反应就称为链式裂变反应。实现链式反应是核能发电的前提。

世界上有比较丰富的核资源,铀的储量约为 417 万吨。地球上可供开发的核燃料资源可提供的能量是矿石燃料的十多万倍。核能应用作为缓和世界能源危机的一种经济有效的措施有许多的优点,如体积小而能量大,核能比化学能大几百万倍。1000g 铀释放的能量相当于 2400t 标准煤释放的能量,一座 100 万千瓦的大型烧煤电站,每年需原煤 300 万~400 万吨,运这些煤需要 2760 列火车,相当于每天 8 列火车,另外还要运走灰渣。同功率的压水堆核电站,一年仅耗铀含量为 3% 的低浓缩铀燃料 28t,每 1lb (1lb $\approx$ 0.45kg) 铀的成本,约为 20 美元,换算成一千瓦发电经费是 0.001 美元左右。随着压水堆的进一步改进,核电站会变得更加安全。

1.1.1.5 太阳能发电

太阳照射、散发在地球上的能量是非常巨大的,大约 40 分钟照射在地球上的太阳能,足以供全球人类一年能量的消耗。因此,太阳能是真正取之不尽、用之不竭的能源。而且太阳能发电无污染、无公害。

太阳能是一种干净的可再生的新能源,在人们生活、工作中应用广泛,其中之一就是将太阳能转换为电能。从太阳获得电力,需通过太阳能电池进行光电变换来实现。太阳能电池就是利用太阳能工作的,而太阳能热电站的工作原理则是利用汇聚的太阳光,把水烧至沸腾变为水蒸气,然后用来发电。

太阳能电池主要有单晶硅、多晶硅、非晶态硅三种。单晶硅太阳能电池变换效率最高,已达 20% 以上,但价格也最贵。非晶态硅太阳能电池变换效率最低,但价格最便宜,今后最有希望用于一般发电的正是这种电池。一旦它的大面积组件光电变换效率达到 10%,每瓦发电设备价格降到 1~2 美元时,便足以同其他的发电方式竞争。

当然,特殊用途和实验室中用的太阳能电池效率要高得多,如美国波音公司开发的由砷化镓半导体同锑化镓半导体重叠而成的太阳能电池,光电变换效率可达 36%,与燃煤发电的效率相差无几。但由于它价格昂贵,只限于在卫星上使用。

要使太阳能发电真正达到实用水平,一是要提高太阳能光电变换效率并降低其成

本,二是要实现太阳能发电与电网联网。

1.1.1.6 地热发电

地热发电是利用液压或爆破碎裂法将水注入岩层中,产生高温水蒸气,然后将蒸汽抽出地面推动涡轮机转动,从而发电。以地下热水和蒸汽为动力源的一种新型发电技术的基本原理与火力发电类似,也是根据能量转换原理,首先把地热能转换为机械能,再把机械能转换为电能。地热能是来自地球深处的可再生热能,它来自地球的熔融岩浆和放射性物质的衰变。地下水深处的循环和来自极深处的岩浆侵入到地壳后,把热量从地下深处带至近表层。地热能的储量比人们目前所耗用的能量的总量还要多,大部分集中分布在地壳构造板块边缘一带。地热能不仅是无污染的清洁能源,而且如果热量提取速度不超过补充的速度,那么热能还是可再生的。

随着化石能源的紧缺、环境压力的加大,人们对于清洁可再生的绿色能源越来越重视,但地热能很久以前就被人类所利用。在这一利用过程中,将一部分未利用的蒸汽或者废气经过冷凝器处理还原为水回灌到地下,循环往复。针对温度不同的地热资源,地热发电有4种基本发电方式,即直接蒸汽发电法、扩容(闪蒸法)发电法、中间介质(双循环式)发电法和全流循环式发电法。

地热蒸汽发电包括一次蒸汽法和二次蒸汽法两大类。①一次蒸汽法是直接利用地下的干饱和(或稍具过热度)蒸汽,或者利用从汽、水混合物中分离出来的蒸汽发电;②二次蒸汽法有两种含义,一种是不直接利用比较脏的天然蒸汽(一次蒸汽),而是让它通过换热器汽化洁净水,再利用洁净蒸汽(二次蒸汽)发电。第二种含义是,将从第一次汽、水分离出来的高温热水进行减压扩容生产二次蒸汽,压力仍高于当地大气压力,与一次蒸汽分别进入汽轮机发电。

1.1.1.7 燃气-蒸汽联合循环发电

燃气-蒸汽联合循环装置是20世纪40年代末开始发展起来的一种能源综合利用技术,其特征是将具有较高平均吸热温度的燃气轮机循环(布雷顿循环)与具有较低平均放热温度的蒸汽轮机循环(朗肯循环)结合起来,使燃气轮机的废热成为汽轮机循环的加热源,达到扬长避短,相互弥补的目的,使整个联合循环的热能利用水平较燃气轮机循环或汽轮机循环都有明显提高。

燃气-蒸汽联合循环发电装置,由于其具有高效、低耗、启动快、可用率高、投资少、建设周期短及环境污染少等优点,越来越得到世界各国的重视而迅速发展起来。从2000年以后,在新增的发电设备总装机容量中,燃气-蒸汽联合循环发电装置超过常规火电站,占电力发展的主导地位。

1.1.2 火力发电的流程与设备

最早的火力发电是1875年在巴黎北火车站的火电厂实现的,目前世界上最大的火电厂是20世纪80年代后期建设的日本鹿儿岛火电厂,容量为4400MW。火力发电按其作用分单纯供电的和既发电又供热的。按原动机分汽轮机发电、燃气轮机发电、柴油机发电。按所用燃料分,主要有燃煤发电、燃油发电、燃气发电。为提高综合经济效益,火力发电应尽量靠近燃料基地进行。在大城市和工业区则应实施热电联供。

随着发电机、汽轮机制造技术的完善,输变电技术的改进,特别是电力系统的出

现以及社会电气化对电能的需求,20世纪30年代以后,火力发电进入大发展的时期。尽管大机组、大电厂可以使火力发电的热效率大为提高,每千瓦的建设投资和发电成本也不断降低,但机组过大又带来运行可靠性、电力可用率的降低,因此到20世纪90年代初,火力发电单机容量稳定在300~700MW。

现代化火电厂是一个庞大而又复杂的生产电能与热能的工厂。火电厂内的基本生产过程是:燃料在锅炉中燃烧,释放热量传给锅炉中的水,从而产生高温高压蒸汽;蒸汽通入汽轮机将热能转换为旋转动力,以驱动发电机输出电能。它一般由以下五个系统组成。①燃料系统;②燃烧系统;③汽水系统(燃气轮机发电和柴油机发电无此系统,但这二者在火力发电中所占比重都不大);④电气系统;⑤控制系统。在上述系统中,最主要的设备是锅炉、汽轮机和发电机,它们安装在发电厂的主厂房内。主变压器和配电装置一般装放在独立的建筑物内或户外,其他辅助设备如给水系统、供水设备、水处理设备、除尘设备、燃料储运设备等,有的安装在主厂房内,有的则安装在辅助建筑中或在露天场地。

如图1-1、图1-2所示为火电厂生产流程与设备。

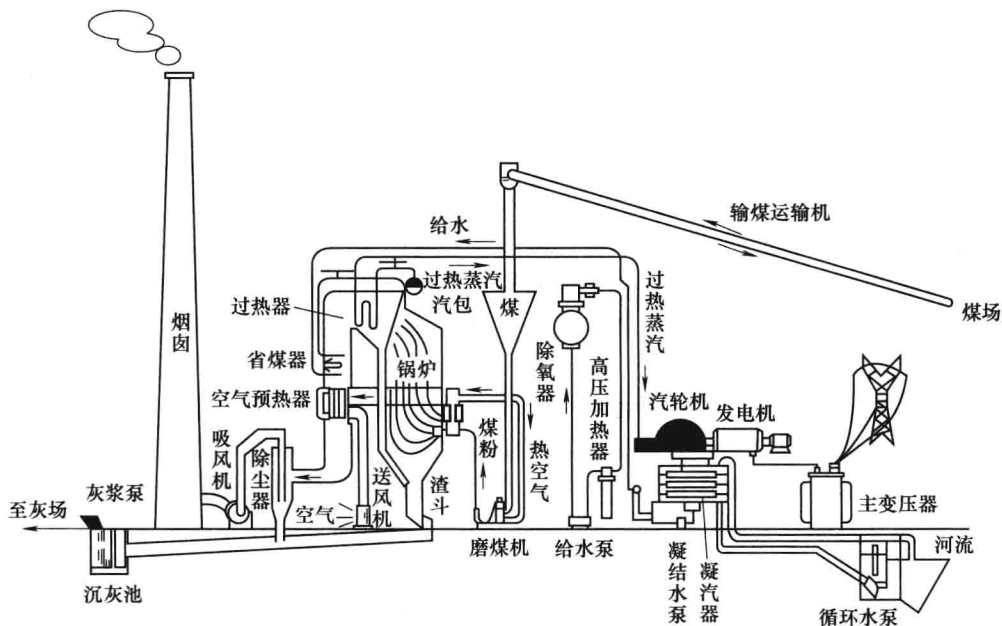


图 1-1 火电厂生产流程

1.1.2.1 燃料系统

用输煤皮带机将燃煤从煤场运至煤斗中。为提高燃煤效率,大型火电厂都是燃烧煤粉,因此,煤斗中的原煤要先送至磨煤机内磨成煤粉。磨碎的煤粉由热空气携带经排粉风机送入锅炉的炉膛内燃烧。煤粉燃烧后形成的热烟气沿锅炉的水平烟道和尾部烟道流动,放出热量,最后进入除尘器,将燃烧后的煤灰分离出来。洁净的烟气在引风机的作用下通过烟囱排入大气。助燃用的空气由送风机送入装设在尾部烟道上的空气预热器内,利用热烟气加热空气,一方面使进入锅炉的空气温度提高,易于煤粉的

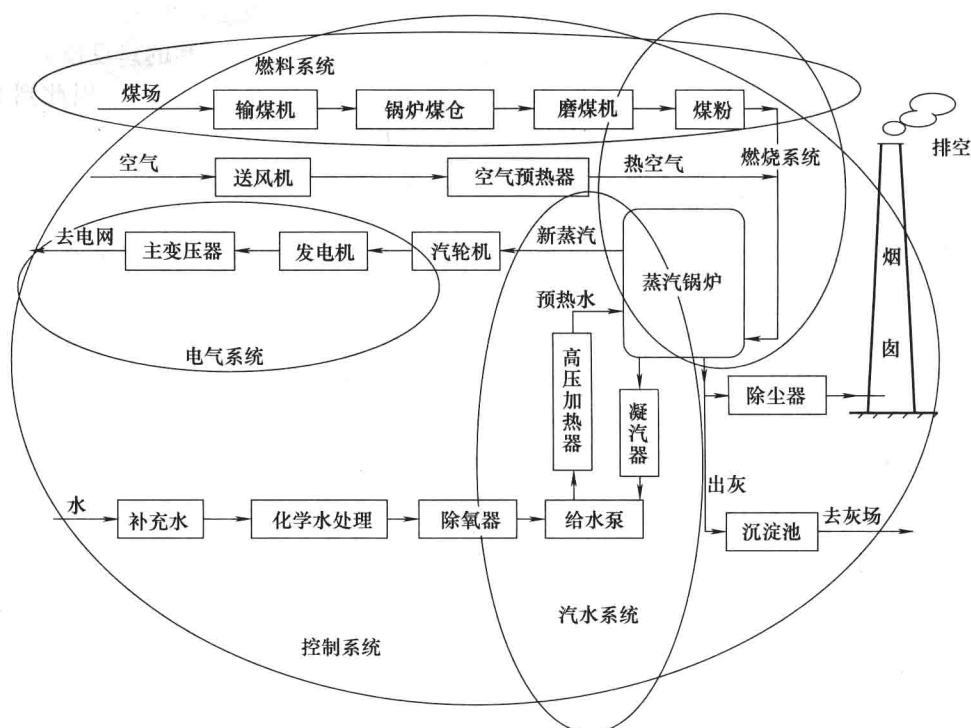


图 1-2 火电厂生产流程工艺

着火和燃烧，另一方面也可以降低排烟温度，提高热能的利用率。从空气预热器排出的热空气分为两股：一股去磨煤机干燥和输送煤粉，另一股直接送入炉膛助燃。燃煤燃尽的灰渣落入炉膛下面的渣斗内，与从除尘器分离出的细灰一起用水冲至灰浆泵房内，再由灰浆泵送至灰场。

在除氧器水箱内的水经过给水泵升压后通过高压加热器送入省煤器。在省煤器内，水受到热烟气的加热，然后进入锅炉顶部的汽包内。在锅炉炉膛四周密布着水管，称为水冷壁。水冷壁水管的上下两端均通过连接箱与汽包连通，汽包内的水经水冷壁不断循环，吸收着煤粉燃烧过程中放出的热量。部分水在冷壁中被加热沸腾后汽化成水蒸气，这些饱和蒸汽由汽包上部流出进入过热器中。饱和蒸汽在过热器中继续吸热，成为过热蒸汽。具有热势能的过热蒸汽经管道引入汽轮机后，高速流动的蒸汽推动汽轮机转子转动，将热势能转换成机械能。

火力发电厂的燃料构成取决于国家资源情况和能源政策。1987年，火电厂发电量的87%是煤电，其余13%是烧油或其他燃料发出的，此后，我国火电厂的燃料主要是煤。有烟煤资源或依赖进口煤的国家，其火电厂主要燃用烟煤，因其热值高、易燃。其他煤种占较大比重的国家，有用褐煤（德国、澳大利亚），无烟煤（前苏联、西班牙、朝鲜等）的。中国燃用煤一半以上是烟煤，贫煤次之，无烟煤在10%以下。一些国家还根据石油国际市场的情况，采用燃油和天然气发电机组。除蒸汽机组外，还有用的燃气轮机和内燃机发电机组。近40年里，燃气-蒸汽联合循环机组发电的火电厂得到重视。

1.1.2.2 燃烧系统

主要由送风装置、送煤（或油、天然气）装置、锅炉的燃烧室（即炉膛）、除尘、脱硫等灰渣排放装置等组成。磨好的煤粉通过空气预热器来的热风，将煤粉打至粗细分离器，粗细分离器将合格的煤粉经过排粉机送至粉仓（不合格的煤粉送回磨煤机），给粉机将煤粉打入喷燃器送到锅炉进行燃烧。而烟气经过电除尘脱出粉尘再将烟气送至脱硫装置，通过石灰喷淋脱出硫的气体经过吸风机送到烟筒排空。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。

1.1.2.3 汽水系统

火力发电厂的汽水系统主要由锅炉、汽轮机、凝汽器、除氧器、水冷壁及管道系统、高低压加热器、凝结水泵和给水泵等组成，可细分为汽水循环、补给水化学水处理和水冷却系统等。其功能是利用燃料的燃烧使水成为高温高压蒸汽，并使水进行循环。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。

水在锅炉中被加热成蒸汽，经过热器进一步加热后变成过热的蒸汽，再通过主蒸汽管道进入汽轮机。由于蒸汽不断膨胀，高速流动的蒸汽推动汽轮机的叶片转动从而带动发电机。为了进一步提高其热效率，在现代大型汽轮机组中一般都从汽轮机的某些中间级后抽出做过功的部分蒸汽作回热循环，以加热给水。即把做过一段功的蒸汽从汽轮机的高压缸的出口全部抽出，送到锅炉的再热汽中加热后再引入汽轮机的中压缸继续膨胀做功，从中压缸送出的蒸汽，再送入低压缸继续做功。在蒸汽不断做功的过程中，蒸汽压力和温度不断降低，最后排入凝汽器并被冷却水冷却，凝结成水。凝结水集中在凝汽器下部由凝结水泵打至低压加热再经过除氧器除氧，给水泵将预加热除氧后的水送至高压加热器，经过加热后的热水加入锅炉，在过热器中把水已经加热到过热的蒸汽，送至汽轮机做功。由于疏通管道很多并且还要经过许多的阀门设备，因而在汽水系统中的蒸汽和凝结水难免发生跑、冒、滴、漏等现象，或多或少地造成水的损失，因此必须不断地向系统中补充经过化学处理过的软化水，这些补给水一般都是经过除氧器补入。

1.1.2.4 电气系统

主要由汽轮发电机、主变压器、配电设备、开关设备、发电机引出线、电网主结线、厂用结线、厂用变压器和电抗器、厂用电动机、保安电源、蓄电池直流系统及通信设备、照明设备等组成。其基本功能是保证按电能质量要求向电网系统或厂区负荷供电。主要流程包括供电网流程、厂用电流程。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。

发电系统是由副励磁机、励磁盘、主励磁机（备用励磁机）、发电机、变压器、高压断路器、升压站、配电装置等组成。发电是由副励磁机（永磁机）发出高频电流，副励磁机发出的电流经过励磁盘整流，再送到主励磁机，主励磁机发出电后经过调压器以及灭磁开关经过碳刷送到发电机转子，当发电机转子通过旋转其定子线圈便

感应出电流，强大的电流通过发电机出线分两路，一路送至厂用电变压器，另一路则送到 SF6 高压断路器，由 SF6 高压断路器送至电网。

1.1.2.5 控制系统

大型火电厂装有大量的仪表，用来监视这些设备的运行状况，同时还设置有自动控制装置，以便及时地对主辅设备进行调节。通过这些控制系统实现对整个生产过程的控制和自动调节，根据不同情况协调各设备的工作状况，使整个电厂的自动化水平达到新的高度。自动控制装置及系统已成为火电厂中不可缺少的部分，主要由锅炉辅机系统、汽轮机辅机系统、发电机附属的电工设备系统组成。它们的基本功能是对火电厂各个生产环节实行自动化调节和控制，协调各部分的工况，使整个火电厂安全、合理、经济地运行，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动启动和停机、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。

火电厂的运行主要包括三个方面，即启动和停机运行、经济运行、故障与对策。火电厂运行的基本要求是保证安全性、经济性和电能的质量。保证安全运行的基本要求是：①设备制造、安装、检修的质量优良；②遵守调度指令要求，严格按照运行规程对设备的启动与停机以及负荷的调节进行操作；③监视和记录各项运行参数，以便尽早发现运行偏差和异常现象，并及时排除故障；④巡回监视运行中的设备及系统是否处于良好状态，以便及时发现故障原因，采取预防措施；⑤定期测试各项保护装置，以确保其动作准确、可靠。

就经济性而言，火电厂的运行费用主要是燃料费。因此，采用高效率的运行方式以减少燃料消耗费是非常重要的。具体措施有以下三点：①滑参数启停。滑参数启动可以缩短启动时间，具有传热效果好、带负荷早、汽水损失少等优点。滑参数停机可以使机组快速冷却，缩短检修停机时间，提高设备利用率和经济性。②加强燃料管理和设备的运行管理。定期检查设备状态、运行工况，进行各种热平衡和指标计算，以便及时采取措施减少热损失。③根据各类设备的运行性能及其相互间的协调、制约关系，维持各机组在具有最佳综合经济效益的工况下运行，在电厂负荷变动时，按照各台机组间最佳负荷分配方式进行机组出力的增、减调度。

电厂在安全、经济运行的情况下，还要保证电能的质量指标，即在负荷变化的情况下，通过调整以保持电压和频率的额定值，满足用户的要求。

火电厂内进行的能量转换是比较简单的，即燃料的化学能→蒸汽的热势能→机械能→电能。在锅炉中，燃料的化学能转换为蒸汽的热能；在汽轮机中，蒸汽的热能转换为转子旋转的机械能；在发电机中机械能转换为电能。炉、机、电是火电厂中的主要设备，亦称三大主机。与三大主机相辅工作的设备称为辅助设备或辅机。除了上述的主要系统外，火电厂还有其他一些辅助生产系统，如燃煤的输送系统、水的化学处理系统、灰浆的排放系统等。这些系统与主系统协调工作，它们相互配合完成电能的生产任务。

1.1.3 水力发电的流程与设备

水力发电是利用江河水流在高处与低处之间存在的位能进行发电。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，将水能转换成机械能，水轮机械再带动发电机旋转，将机械能转换为电能，然后经升压变压器和送电线路，将电能送到电网或负荷中心。

世界上第一座水力发电厂是 1878 年由法国建成的，它位于美国威斯康星州阿普尔顿的福克斯河上，由一台水车带动两台直流发电机组成，装机容量为 25kW，于 1882 年 9 月 30 日发电。我国三峡水电站是目前世界上规模最大的水电站，1994 年正式动工兴建，2003 年 6 月 1 日下午开始蓄水发电。三峡水电站大坝高程 185m，蓄水高程 175m，水库长 600 多千米，2012 年 7 月 4 日最后第 32 台水电机组安装投产，总装机容量达到 2240 万千瓦。2012 年 7 月在三峡坝区加工完成的水力发电机组（单机容量 80 万千瓦）则是世界上单机容量最大的水电机组。

水能是可再生能源，为水力发电修建的水库大坝可以综合利用。水力发电的特点如下。一方面：①水力发电是清洁的电力生产，不排放有害气体、烟尘和灰渣，也没有核废料；②水力发电的效率 high；③水力发电的生产成本低；④水力发电与火力发电等不同，可同时完成一次能源开发和二次能源转换；⑤水轮发电机组启停灵活，输出功率增减快、可变幅度大，是电力系统理想的调峰、调频和事故备用电源。另一方面：①水力发电机组的启停、输出功率增减受河川天然径流丰枯变化的影响大；②建设较大水库的水电站时，水库淹没损失较大，移民较多，并因此而改变人们的生产生活条件，影响野生动植物的生存环境，水库调节径流改变了该区域原有的水文状况，对生态环境有一定影响；③水能资源在地理上的分布不均，建坝条件较好和水库淹没损失较少的大型水电站站址往往位于远离用电中心的偏僻地区，施工条件较困难，需要建设较长的输电线路，增加了造价和输电损失。

1.1.3.1 水力发电厂的各种建筑物

水力发电厂是由各种水工建筑物，以及发电、变电、配电等机械、电气设备组成的一个有机综合体。其中各种水工建筑物包括挡水建筑物、泄水建筑物、进水建筑物、引水建筑物、平水建筑物、厂区建筑物以及枢纽中的其他建筑物等，机电设备则安装在各种建筑物上，主要是在厂房内及其附近。

(1) 挡水建筑物

挡水建筑物是拦截水流、提高水位、形成水库，以集中落差、调节流量的建筑物，如坝和闸。

(2) 泄水建筑物

泄水建筑物作用主要是泄放水库容纳不了的来水，防止洪水漫过坝顶，确保水库安全运用，因而是水库中必不可少的建筑物，如溢流坝、河岸溢洪道、坝下泄水管及隧洞、引水明渠溢水道等。

(3) 进水建筑物

进水建筑物是使水轮机从河流或水库取得所需的流量，如进水口。

(4) 引水建筑物

引水建筑物是引水式或混合式水电站中，用来集中落差（对混合式水电站而言，则只是集中总汇落差）和输送流量的工程设施，如明渠、隧洞等。有时水轮机管道也被称为引水建筑物，但严格说来，由于它主要是输送流量的，所以与同时具有集中落

差和输送流量双重作用的引水建筑物并不完全相同。有些水电站具有较长的尾水隧洞及尾水渠道，这也属于引水建筑物。

(5) 平水建筑物

平水建筑物作用是当负荷突然变化引起引水系统中流量和压力剧烈波动时，借以调整供水流量及压力，保证引水建筑物、水轮机管道的安全和水轮发电机组的稳定运行。例如，引水式或混合式水电站的引水系统中设置的平水建筑物，如压力池或高压池。

(6) 厂区建筑物

包括厂房、变电站和开关站。厂房是水电站枢纽中最重要的建筑物之一，它不同于一般的工业厂房，而是水力机械、电气设备等有机地结合在一起的特殊的水工建筑物；变电站是安装升压变压器的场所；而开关站则是安装各种高压配电装置的地方，故也称为高压配电场。

(7) 枢纽中的其他建筑物

枢纽中的其他建筑物指对于将水能转换为电能，这个生产过程没有直接作用的船闸或升船机、筏道、鱼道或鱼闸以及为灌溉或城市供水而设的取水设施等。为了综合利用水资源，它们在整个水电站枢纽中是不可分割的一部分，对枢纽的布置和运用也有重要的影响。

将水能转换成电能的生产全过程是在整个水电站枢纽中进行的，而不仅仅是在厂房中进行的。

1.1.3.2 水电发电的类型

水电厂是借助于建筑物和机电设备将水能转换为电能的企业。水电厂包括哪些建筑物以及它们之间的相互关系，主要取决于集中水头的方式。按集中水头的方式对水电站进行分类最能反映水电厂建筑物的组成和布置特点。按集中水头的方式对水电厂进行分类，水电厂可分为坝式、引水式和混合式。

(1) 坝式水电厂

坝式水电厂的水头是由建筑的库坝抬高上游水位而形成，分为坝后式和河床式。
①坝后式水电厂：厂房建在坝的后面，上游水压力由坝承受，不传到厂房上来。对于水头较高的坝式水电厂，为了不使厂房承受上游的水压力，一般常采用这种布置方式。这时厂房设在坝后，水流经由埋藏于坝体内的或绕过坝端的水轮机管道（埋藏于坝体内的常采用钢管，绕过坝端的常采用隧洞）进入厂房。
②河床式水电厂 水电厂厂房代替一部分坝体作为抬高水位的建筑物，直接承受着上游水压力，它没有专门的水轮机管道，水流由上游进入厂房转动水轮机后泄回下游。这类水电厂水头较低，一般不超过 30m。

(2) 引水式水电厂

引水式水电厂的水头由引水道形成。这类水电厂在平面布置上的特点是具有较长的引水道，水电厂建筑物比较分散。

(3) 混合式水电厂

混合式水电厂的水头一部分由坝集中，一部分由引水道集中。这类水电厂的建筑物组成和布置除其中的坝以具有一定的高度为其特点外，其余与引水式水电厂大体