

火电生产类学徒工初级工培训教材

电力生产过程

(试用本)

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为火电生产类学徒工初级工培训教材之一,扼要地叙述了电力生产,包括火力发电厂和水电站的主要生产过程,以及变电、送电、配电、直至用户的全过程。对所用主要设备与电力系统的构成等也作了介绍。

本书可作为具有初中毕业文化程度的学徒工、初级工培训教材,也可供中级以上技术工人参考。

火电生产类学徒工初级工培训教材

电 力 生 产 过 程

(试 用 本)

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6.25印张 137千字

1983年12月第一版 1983年12月北京第一次印刷

印数000001—150000册 定价0.52元

书号 15143·5309

前 言

为了提高水利电力系统学徒工初级工的技术水平,使技工培训工作逐步走向正规化、系统化,我们统一组织编写了水电生产、水电施工、火电生产、火电建设和供电等五类学徒工初级工的培训教材。

这五类培训教材是按照原水利部、原电力工业部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求编写的。每一工种的培训教材包括基础课与专业课两部分,注意到学徒工初级工两个阶段技术理论教育的系统性和完整性,力求密切联系生产实际,深入浅出,突出工人培训教材的特点。

火电生产类培训教材包括22个工种共23本,其中基础课11本,专业课12本,委托山西省电力工业局组织编写,并约请各大区网局和省电力工业局的有关同志参加审稿。

《电力生产过程》系基础课教材之一,由山西省电力勘测设计院胡本哲主编;参加编写的有胡本哲(第一章第一、二节及第二章第三节)、孙昇福(第一章第三节)、朱格乔(第一章第四节)、王锡福(第一章第五节)、高树威(第一章第六节)、成纪长(第一章第七节)、张祖勉(第一章第八节)、李英(第一章第九节)、丁明华(第一章第十节)、纪宝平(第二章第一、二节)、刘鸿纲(第二章第四节)、黎建文(第三章)、枅本文(第四章及第五章第一、二、三节)、赖维成(第五章第四、五节)等;由山西省电力勘测设计院叶光天审稿,华东电业管理局、沈阳电业局、

河南省电力工业局、济南供电局、唐山发电厂等单位进行了审定。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，培训教材中难免存在错误和不妥之处，现以试用本出版，内部发行。希望使用单位和广大读者提出宝贵意见，以提高再版的质量。

水利电力部

1983年5月

目 录

前 言

第一章 火力发电厂	1
第一节 概述	1
第二节 燃料供应	9
第三节 锅炉设备	19
第四节 汽轮机设备	35
第五节 汽轮发电机设备	49
第六节 供水系统	61
第七节 除尘与除灰系统	66
第八节 电厂化学	71
第九节 热工自动化	77
第十节 环境保护	83
第二章 水力发电站	88
第一节 概述	88
第二节 水工建筑物	95
第三节 水库与水库调度	103
第四节 水轮发电机设备	109
第三章 电力线路	122
第一节 概述	122
第二节 导线和避雷线	124
第三节 绝缘子和金具	130
第四节 杆塔和基础	133
第四章 变电所	138
第一节 概述	138

第二节	变电所的一次设备	140
第三节	变电所的二次设备	151
第四节	主结线和配电装置	154
第五节	防雷与接地装置	161
第五章	电力系统	163
第一节	概述	163
第二节	电力系统运行	168
第三节	电力系统调度	178
第四节	通信和远动	182
第五节	继电保护与自动装置	187

第一章 火力发电厂

第一节 概 述

火力发电厂的生产过程概括起来就是，通过高温燃烧把燃料的化学能变为热能，从而将水加热成为高温 高压 的蒸汽，然后利用蒸汽驱动汽轮发电机，把热能转变成电能。

火力发电厂所用能源构成为煤、石油和天然气等燃料。目前全世界的火电厂发电量约占整个发电量的75%以上。我国火电厂发电量占全部发电量的83%左右，其中烧煤的约占70%，烧油的约占25%，利用其它能源的电厂约占5%。我国水利资源十分丰富，而水力发电在我国能源结构中仅占3%左右，在当前能源短缺情况下，尤其需要大力开发水电。

一、火力发电厂的分类与容量

(一) 按照生产产品的性质分类

- 1) 凝汽式发电厂。只生产供给用户的电能。
- 2) 供热式发电厂。不仅生产供给用户的电能，还生产供给用户的热能。
- 3) 综合利用发电厂。发电厂不仅可以生产电能和热能，而且还可以利用燃烧后的灰渣(包括掺烧一部分掺合剂)，制作许多其它产品，例如水泥、保温材料、其它建筑材料和磷肥等。

(二) 按照服务的对象分类

1. 区域性发电厂

这类电厂是向较大区域供电的，有较大容量，通过电网

将大量电力供给负荷中心，例如正在建设中的山西雁同火电基地，就是通过500千伏高压输电线路向京津唐地区供电，属于区域性发电厂。这类性质的电厂大部分建在煤炭能源基地。

2. 地方性发电厂

这类电厂多数建在靠近用户的地方，除供电能外，还可以供部分热能，其容量一般都较区域性发电厂小。

根据地方性发电厂所负担的任务，又可以分为下列几种类型：

1) 城市供热电厂。主要供给城市各种工业企业生产和城市居民生活所需的热能和电能。

2) 工业自备电厂。该电厂专门供应某个工业企业所需的电能和热能，且归这个工业企业所有。

3) 小型发电厂。它是一种因地制宜，充分利用各种能源建设起来的小容量电厂，主要用来满足乡村、城镇工农业发展和人民生活的需要。由于我国电力网的迅速发展，除边远地区外，这种小型火电厂不宜再进一步发展，因为它能源消耗大，不经济。

3. 列车电站和船舶电站

这是一种把成套的发电设备和装置安装在火车车厢内或装在船舶内，便于在铁路上和江河上行走、活动，以满足基本建设对临时电源的需要或者某种特殊情况下的需要。

(三) 按照蒸汽的参数分类

蒸汽参数就是蒸汽的压力(汽压)和温度(汽温)。汽压的单位是大气压(公斤/平方厘米)，汽温的单位是摄氏度数($^{\circ}\text{C}$)。蒸汽参数低的电厂容量较小，蒸汽参数高的电厂容量较大。

目前我国火力发电厂采用的蒸汽参数和相应的电厂容量如表1-1所示。

表 1-1 蒸 汽 参 数 表

电 厂 类 型	汽压(大气压)		汽温(°C)		电 厂 容 量 或 单 机 容 量 的 大 致 范 围
	锅 炉	汽 轮 机	锅 炉	汽 轮 机	
低温低压电厂	14	13	350	340	1万千瓦以下的小型电厂
中温中压电厂	40	35	450	435	1~20万千瓦的中小型电厂
高温高压电厂	100	90	540	535	10~60万千瓦的大中型电厂
超高压电厂	140	135	540	535	25万千瓦以上的大型电厂
亚临界压力电厂	170	165	555	550	60万千瓦以上的大型电厂

目前我国最大的火力发电厂容量为110万千瓦，最大单机容量为32万千瓦。国产30万千瓦机组已投入运行，60万千瓦机组正在试制中。随着电力工业的迅速发展，我国已建成一批总容量在100万千瓦以上的大型电厂。

国外最大的火力发电厂容量为440万千瓦（日本的鹿岛电厂，装有四台60万千瓦和二台100万千瓦机组）。最大的单机容量为美国的130万千瓦。目前美、英、苏、日等国已建成一批总容量在200万千瓦以上的电厂，单机容量大都为60~100万千瓦。

二、火力发电厂的基本生产过程

火力发电厂的主要生产系统包括汽水系统、燃烧系统和电气系统，现分述如下：

（一）汽水系统

火力发电厂的汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器和给水泵等组成，它包括汽水循环、化学水处理和冷却水系统等。

汽水系统流程如图1-1所示。

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，高速流动的蒸汽冲动汽轮机的叶片转动从而带动发电机发电。

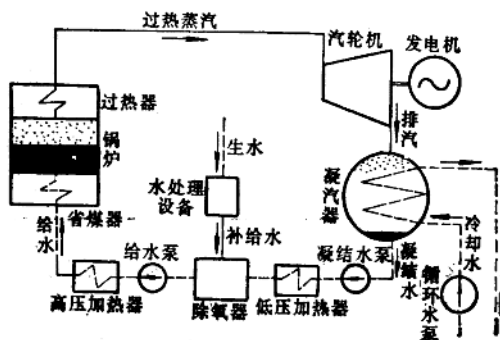


图 1-1 汽水系统流程

为了进一步提高其热效率，一般都从汽轮机的某些中间级后抽出作过功的部分蒸汽，用以加热给水。在现代大型机组中都采用这种给水回热循环。此外在超高压机组中还采用再热循环，即把作过一段功的蒸汽从汽轮机的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膨胀作功。在膨胀过程中，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器和除氧器，经加温和脱氧后由给水泵将其打入高压加热器加热，最后打入锅炉。

汽水系统中的蒸汽和凝结水，由于经过许多管道、阀门和设备，难免产生泄漏等各种汽水损失，因此必需不断向系统补充经过化学处理的软化水，这些补给水一般都补入除氧器中。

（二）燃烧系统

燃烧系统由锅炉的燃烧部分、输煤部分和除灰部分组成。锅炉的燃烧系统如图1-2所示。

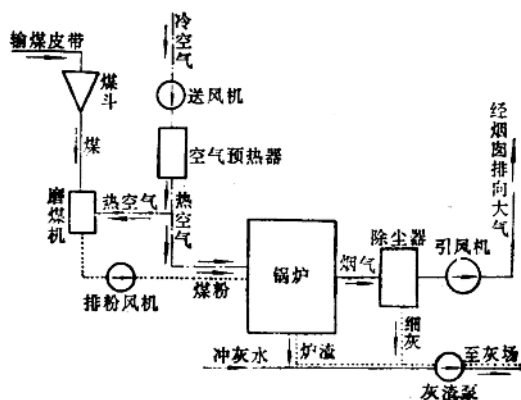


图 1-2 燃烧系统流程（煤粉炉）

锅炉的燃料——煤，由皮带机输送到煤仓间的煤斗内，经给煤机进入磨煤机磨成煤粉，然后和经过空气预热器预热过的空气一起喷入炉内燃烧。烟气经除尘器除尘后由引风机抽出，最后经烟囱排入大气。

锅炉排出的炉渣经碎渣机破碎后连同除尘器下部的细灰一起由灰渣泵经灰管打至贮灰场。

(三) 电气系统

发电厂发出的电，除电厂消耗外，一般均经变压器升高电压后通过高压配电装置和输电线路向外送出。电厂厂用电由厂用变压器降低电压后通过厂用配电装置和电缆供厂内各种辅机设备和照明等用电。电气系统如图1-3所示。

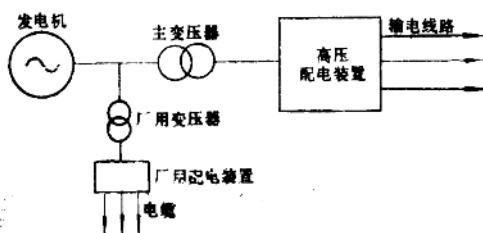


图 1-3 电气系统图

发电厂的整个生产过程除上述的基本过程以外，还有供水系统、化学水处理系统、输煤系统和热工自动化等各种辅助系统和设施，将在以后的章节中分别叙述。

火电厂的整个生产过程和主要设备概况如图1-4所示。

三、火电厂的效率

火电厂所需的能量从煤炭、石油或天然气等燃料燃烧后转换而来，但燃料中释放出来的能量即燃料的发热量并非全部转换成电能。由于在电厂生产过程中各个环节都有能量损失，所以到目前为止，世界上最好的火电厂也仅仅将40%的热能转换成电能，这种转换后的电能与转换前的热能的比值的百分数通常被称之为火力发电厂的效率。

如果以火力发电厂锅炉燃用煤的发热量为100%，则各种参数的电厂其能量损失和发电效率一般如表1-2所示。

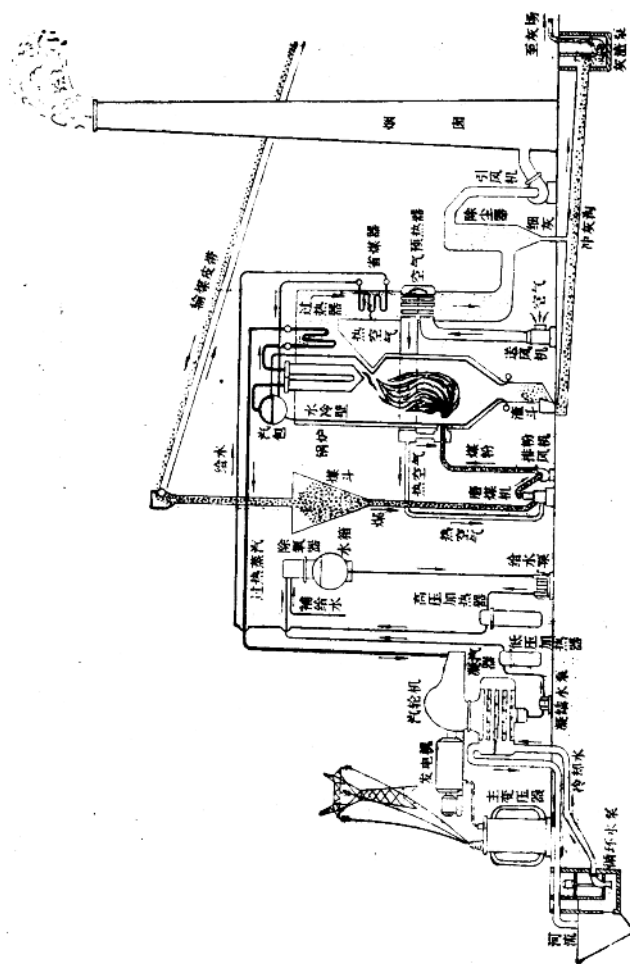


图 1-4 火电厂生产过程和主要设备

汽轮机的排汽热损失就是排汽在凝汽器中凝结成水时被冷却水所吸收和带走的潜热损失。以中温中压电厂为例，每公斤汽轮机进汽的含热量为790大卡，而每公斤排汽在凝汽器中损失的热量约为500大卡，因此排汽凝结成水时热损失为最大，这就造成了火电厂效率低的主要原因。

表 1-2 电厂能量损失和发电效率

项 目	中温中 压电厂	高温高 压电厂	超高压 电 厂	超 临 界 压力电厂
锅炉效率(%)	11	10	9	8
汽轮机的机械损失(%)	1	0.5	0.5	0.5
发电机损失(%)	1	0.5	0.5	0.5
管道系统损失(%)	1	1	0.5	0.5
汽轮机排汽热损失(%)	61.5	57.5	52.5	50.5
总 损 失(%)	75.5	69.5	63	60
发电效率(%)	24.5	30.5	37	40

注 1. 主要决定于蒸汽参数；
2. 表中所列数据为一般的平均数。

为提高火电厂效率，除了提高锅炉，汽轮机等主要设备的制造和运行水平以外，最主要的就是要提高蒸汽参数和采用中间再热循环，其次是充分利用汽轮机的抽汽或排汽的潜热供工业生产或生活取暖用，以便减少或避免汽轮机排汽所带走的热量损失。

供热电厂就是充分利用供热式汽轮机的抽汽或排汽的潜热供工业企业生产或采暖用，达到既发电又供热的热能综合利用，因此这样的电厂发电效率可达50~80%，比凝汽式发电厂效率高。但是此类电厂厂址局限于靠近城市和工业企业点，而且需要敷设大量热网管道，消耗钢材多，投资较大。

第二节 燃 料 供 应

一、输煤系统

火力发电厂的输煤系统，包括从卸煤装置起直至把煤运到锅炉房原煤斗的整个生产工艺流程。输煤系统一般包括燃料运输，卸煤机械，受煤装置，煤场设施，输煤设备和筛分破碎装置，集中控制和自动化以及其它辅助设备与附属建筑。

(一) 燃料种类与发热量

目前火力发电厂的燃料主要有以下三种：

(1) 煤 可分为无烟煤、烟煤、褐煤、石煤等。煤的成分主要有碳、硫、灰分、水分和挥发物。常用的煤种主要特点与发热量如下：

1) 无烟煤。含碳较多，挥发物较少，不易着火，发热量约为5000~6000大卡/公斤。

2) 烟煤。含碳较少，挥发物较多，易于着火，发热量约为4500~5000大卡/公斤。

3) 褐煤。挥发物及水分较多，发热量约为1500~4000大卡/公斤。

4) 石煤。灰分多，不易着火，发热量约为1000~3000大卡/公斤。

(2) 油 主要是重油，即炼油厂从石油中提炼出汽油、煤油、柴油等以后所余下的油。重油是电厂一种优质燃料，灰分和水分都极少，发热量为9000~10000大卡/公斤。

(3) 气 主要是天然气，焦炉煤气和高炉煤气等，发热量为9000~13000大卡/立方米。

为了比较和计算煤耗量，规定标准煤的发热量为7000大卡/公斤。

(二) 电厂燃料的运输

随着单机容量的增大，火力发电厂的规模也在加大，电厂的耗煤量也就越来越大。各种电厂的耗煤量大致如表1-3所示。

表 1-3 电 厂 耗 煤 量

电 厂 类 型	容 量 (万千瓦)	日耗煤量 (吨)	年耗煤量 (万吨)
中温中压	10	1320	48
高温高压	20	2352	85
超 高 压	30	3528	127
超 高 压	60	7056	254
亚临界压力	100	11760	423

火力发电厂的燃料运输要考虑燃料运达电厂的设施和厂内的卸载作业方式。对于采用铁路，船舶运输燃料的电厂，其厂外运输业务一般由交通部门承担较好，只是在与国家铁路干线无连接的专用线等个别情况下才由电厂自己管理。除此以外，凡采用管道、长距离带式运输机、架空索道、汽车以及其它运输方式等，均属于电厂业务范围，同时也必须与燃料供应部门协作。

电厂燃料运输的基本方式与主要优缺点如表1-4所示。

(三) 卸煤机械和受卸装置

由于电厂耗煤量大，每天来煤量多，人工卸煤方式已不适用。因此目前我国大、中型电厂均采用机械卸煤，如表1-

表 1-4

电厂燃料运输方式表

运输方式	基本适应范围	主要优点	主要缺点
铁路运输	1. II级专用线, 自动化闭塞方式, 运量可达700万吨/年左右。 2. 一般线路坡度在20%以下。 3. 可由干线接出专用线或由煤矿直接接出专用线。 4. 常用的运输方式	1. 运输能力大, 合理的运输距离较长。 2. 运输费用较低, 平均0.1元/吨。 3. 比较安全可靠	1. 电厂专用线过长时, 钢材消耗量大, 投资大。 2. 线路技术要求较高, 工程量大, 建设周期长。 3. 操作复杂, 需自备机车及有关设施
汽车运输	1. 线路坡度: 一般 $<8\%$, 转弯半径一般不小于20米。 2. 运输能力一般为4~20万吨/年。 3. 运输距离在4公里以内较适宜。 4. 铁路专用线无法建设	1. 与铁路比较能适应较大的线路坡度及较小的曲线半径。 2. 基建投资较便宜	1. 运输能力较小。 2. 合理的运输距离较短。 3. 消耗汽油和橡胶。 4. 维修工作量大
架空索道运输	1. 输送能力一般为200吨/时, 最大可达300吨/时以上。 2. 适用于地形较复杂的山地运输, 距离一般在10公里左右, 并可进行接力运输	1. 适应坡度较大的山区。 2. 合理的输送能力大于汽车运输方式	1. 基建施工较困难。 2. 维修工作较困难。 3. 不宜多转运
无极绳运输	1. 运输能力一般可达70万吨/年左右。 2. 输送距离一般为两公里左右。 3. 适应地形起伏不太复杂的地区	1. 能适应一定的线路坡度及弯曲的变化。 2. 设备简易, 维修工作量较小	1. 运输能力不大。 2. 多阶段的挂车工作复杂, 需要劳动力较多