

349714

中等专业学校試用教科书

# 发电厂和变电所的 电气部分

上册

于长順 王熹德 等編譯



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



# 发电厂和变电所的 电气部分

上册

于长順 王熹德 等編譯

中国工业出版社

本书是中等专业学校的教材，适用于发电厂电力网及电力系统专业，也可作为电力系统继电保护与自动装置和输配电工程等专业的教学参考书。

本书主要内容为动力系统 and 发电厂概述、短路电流，以及主要电器及其选择等。

## 发电厂和变电所的电气部分

### 上册

于长顺 王熹德 等編譯

\*

水利电力部办公厅图书编辑部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张22·字数522,000

1964年1月北京第一版·1964年1月北京第一次印刷

印数0001—2,080·定价(9-4)2.25元

\*

统一书号: K15165·2779(水电-357)

## 前 言

本书是作为中等技术学校“发电厂电力网及电力系统”专业的教科书编写的，也可作为“输配电工程”和“电力系统继电保护及自动装置”等专业的教学参考书。

本书共分上、下两册，上册内容包括动力系统及发电厂工作简述、短路电流和主要电器及其选择；下册内容包括发电厂和变电所的主电路、自用电、配电装置、操作电源、二次电路及其他。

本书在编写前，于1961年7月由郑州电力学校、吉林电力学院和沈阳电力学校共同讨论了有关问题，并拟定了编写提纲。上册编写中采用了Л.И.巴普季丹诺夫和B.И.塔腊索夫合著“发电厂和变电所的电气设备”俄文修订第三版(1960年版)的大量内容，并参考了西安交通大学输配电教研组编的“发电厂电气部分”。

根据1962年全国拟订的中等技术学校“发电厂电力网及电力系统”专业、“发电厂变电所电气部分”课程教学大纲草案，本书上册中删去了“同步发电机和同步补偿器”及“电力变压器”两部分内容。这两部分内容在“电力系统运行及技术管理”课程中讲授。其他部分也作了相应的修改。

本书主要介绍目前我国生产的电气设备，并注意到使内容符合我国规程的规定。在附录中列出了国产主要电气设备的技术数据，供练习和课程设计之用。

上册第1~9章由郑州电力学校于长顺、李鸣岐、李知难、刘宝仁和罗世英等同志翻译，周奇同志参加了第1~3章的翻译工作。第10~19章由沈阳电力学校王熹德、刘福材、刘学明、宫尚福和唐国璞等同志翻译，并经郑州电力学校于长顺、李鸣岐、李知难、刘宝仁和罗世英等同志作了校核和修改。谢世鲲同志校阅了全部稿件，周奇同志校阅了第1~4章。由于我们的知识水平和教学经验有限，书中难免有错误和不当之处，希望兄弟学校在使用过程中提出批评和建议，供再版时修改参考。

郑州电力学校发电厂教研组

1962年12月

## 目 录

## 前 言

## 第一編 动力系統和发电厂概述

<b>第一章</b> 緒論..... 1	2-3 运行时日負荷曲綫的作法..... 24
1-1 我国电力工业发展概况..... 1	2-4 設計时日負荷曲綫的作法..... 25
1-2 发电厂的类型和工作簡述..... 2	<b>第三章</b> 中性点不接地和接地的三相系統..... 28
1-3 发电厂的电气設備簡述..... 9	3-1 中性点不接地的三相系統..... 28
1-4 动力系統的基本概念..... 15	3-2 中性点經消弧綫圈接地的三相系統..... 30
<b>第二章</b> 电气裝置的負荷曲綫..... 17	3-3 中性点直接接地的三相系統..... 31
2-1 負荷曲綫及其特征..... 17	
2-2 負荷曲綫的用途和表明电气裝置工作状况的因数..... 22	

## 第二編 短 路 电 流

<b>第四章</b> 短路电流的計算..... 33	4-12 序阻抗和序网络图的拟制..... 91
4-1 短路的一般概念..... 33	4-13 不对称短路时短路点的电流和电压..... 95
4-2 标么值..... 36	4-14 不对称短路时短路电流和电压的計算..... 101
4-3 电力系統中各元件的阻抗..... 38	<b>第五章</b> 短路电流的效应..... 110
4-4 短路电流的計算程序..... 41	5-1 短路电流的电动力效应..... 110
4-5 由无限大容量电力系統供电的电路內短路..... 49	5-2 短路电流的热效应..... 113
4-6 发电机供电的电路內短路..... 59	<b>第六章</b> 短路电流的限制..... 120
4-7 用計算曲綫决定短路电流(一)..... 64	6-1 概述..... 120
4-8 用計算曲綫决定短路电流(二)..... 72	6-2 变压器或供电綫路分开运行..... 122
4-9 已知电力系統不同数据时短路电流的計算..... 80	6-3 具有低压分裂繞組变压器的应用..... 124
4-10 考虑异步电动机时短路电流的計算..... 87	6-4 电抗器的应用..... 127
4-11 对称分量法在不对称短路計算中的应用..... 88	6-5 电抗器的选择..... 133
	6-6 电抗器的构造..... 138

## 第三編 載流导体及主要电器

<b>第七章</b> 絕緣子..... 140	<b>第八章</b> 配电裝置的母綫..... 147
7-1 絕緣子及其类型..... 140	8-1 母綫的材料和截面形状..... 147
7-2 支柱絕緣子..... 141	8-2 母綫的选择..... 149
7-3 套管絕緣子..... 143	8-3 母綫在絕緣子上的固結和母綫的着色..... 163
7-4 綫路絕緣子..... 144	<b>第九章</b> 电力电綫..... 164
7-5 絕緣子的选择..... 146	



9-1 电力电缆的类型及其应用.....164	15-3 少油断路器.....240
9-2 电力电缆的选择.....167	15-4 空气断路器.....251
<b>第十章 开关电器中熄灭电弧的基本概念</b> .....171	15-5 负荷开关.....260
10-1 电弧的基本特性.....171	<b>第十六章 断路器的操作机构</b> .....262
10-2 熄灭电弧的基本方法.....174	16-1 操作机构的用途和类型.....262
10-3 直流电路的断路.....178	16-2 手动操作机构.....264
10-4 交流电路的断路.....179	16-3 重锤式和弹簧式重合闸操作机构.....266
<b>第十一章 电气触头</b> .....183	16-4 电磁操作机构.....268
11-1 概述.....183	16-5 电动机操作机构.....273
11-2 固定连接触头.....185	16-6 气动操作机构.....273
11-3 滑动触头和可断触头.....189	<b>第十七章 电流互感器</b> .....274
<b>第十二章 熔断器</b> .....197	17-1 电流互感器的技术特性.....274
12-1 熔断器的技术特性.....197	17-2 电流互感器的接线图.....279
12-2 熔断器的类型和构造.....199	17-3 电流互感器的类型及构造.....279
<b>第十三章 低压开关</b> .....205	<b>第十八章 电压互感器</b> .....286
13-1 闸刀开关.....205	18-1 电压互感器的技术特性.....286
13-2 自动空气开关.....207	18-2 电压互感器的接线图.....288
13-3 接触器.....212	18-3 电压互感器的类型及构造.....290
13-4 磁力起动器.....214	18-4 电容分压器.....292
<b>第十四章 隔离开关及其操作机构</b> .....215	<b>第十九章 电器的选择</b> .....294
14-1 隔离开关的用途及类型.....215	19-1 根据额定参数选择电器的一般条件.....294
14-2 屋内用隔离开关.....216	19-2 根据短路电流的效应校验电器的稳定度.....295
14-3 屋外用隔离开关.....217	19-3 各种电器的选择.....299
14-4 隔离开关的操作机构.....223	19-4 电器选择举例.....303
<b>第十五章 断路器</b> .....225	<b>附录</b> .....309
15-1 断路器的技术特性和类型.....225	俄文下角意义说明.....344
15-2 多油断路器.....227	

# 第一編

## 动力系統和发电厂概述

### 第一章 緒論

#### 1-1 我国电力工业发展概况

电力工业在社会主义建設中占有十分重要的地位，这是因为电能具有显著的优越性，它可以方便地与其他各种能量互相轉換，也可以方便而又經濟地远距离輸送和分配給各种电能用戶，在使用时易于操作和控制，并且它和新兴的科学技术有着密切不可分的联系。所以在一切現代化的工农业生产、交通运输和人民生活中，电能得到了日益广泛的和大量的应用。电气化是生产过程高度机械化和自动化、采用最新科学技术成就和提高劳动生产率的技术基础，也是改善人民生活的重要方面。国家的生产水平和人民生活水平，在很大程度上依赖于电力工业的发展水平。所以列宁說：“只有当国家实现了电气化，为工业、农业和运输业打下了現代大工业的技术基础的时候，我們才能彻底取得胜利”<sup>①</sup>。

解放前，我国的电力工业和其它工业一样，处于极端落后的状态，并且带有明显的半殖民地的特点。从1882年帝国主义国家在上海开办发电厂开始，直到1949年全国解放的60余年中，全国各发电厂总的装机容量只有185万瓩，年发电量只有43亿度。这些电厂大部分集中于东北和沿海几个大城市，被美、英、日、德等帝国主义国家所分別控制，設備陈旧，类型龐杂，效率低，并且电能規格不一。設備的供应完全依靠外国，設計和施工也仰仗外国人。

新中国成立后，随着整个国民經济的恢复和发展，电力工业迅速地发展壮大。在1950年到1952年的国民經济恢复时期，对原有的电力工业进行了巨大的恢复和改造工作，并扩建了一些电厂。到1952年，全国发电量就超过了历史上最高年发电量的百分之二十二。第一个五年計划时期，随着国民經济不断发展的需要，开始在許多地区建設了新的动力基地和电力系統，采用了新的設備和技术，使我国电力工业的面貌为之一新。到1957年，年发电量已达到193亿度。到1959年，年发电量增加到430亿度。我国电力工业的发展是很迅速的。

在党的领导下，随着电力工业的发展，一支新型的电力技术队伍已經形成，并积累了一定的經驗。現在，各类大型水电厂、火电厂的設置和施工，我国均能独立进行。运行的經济指标和安全状况有了根本的改善，并制訂了一套較完整而統一的技术規程和技术标准。同时，我国的电机制造工业也有了很大发展，各种电力設備已能大部分自給。所有这些都說明，目前我国电力工业已初步建成了比較完整的体系，并为今后进一步发展打下了穩固的基础。我国动力資源丰富，自然条件优越。今后在党和毛主席的领导下，勤劳勇敢的中国人民，一定能更快地取得社会主义建設的胜利，电力工业也一定能向更高的水平迈进。

① 見“列宁全集”，1958年人民出版社出版，第31卷469頁。

## 1-2 发电厂的类型和工作简述

发电厂是把其他形式的能量(燃料的化学能、水能、风能、原子能等)转换为电能的一种特殊工厂。由发电厂生产出来的电能,经架空线路或电缆线路,输送给各种不同的用户,以满足工业、农业、城市公用事业和居民日常生活用电的需要。由于电能不能储存,所以发电厂的工作状况比较特殊。发电厂任一时刻的负荷,决定于同一时刻用户所取用的功率,并且每一用户的工作状况和消耗的电能是不断改变着的,因此,发电厂中发电机生产的功率(即负荷),以及输送和分配电能系统中各部分(输配电线路和变电所等)的功率,也同样地随着变动。

发电厂和其他电力装置负荷随时间变化的情况,通常是用负荷曲线(图1-1)表示。曲线的纵座标表示负荷,横座标表示负荷变化期间的時間。负荷曲线的形状随着用户的性质及其工作情况等不同而变化(详见第二章)。

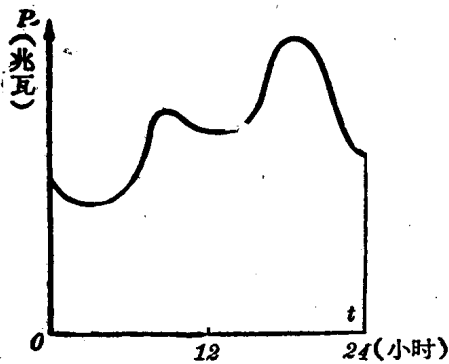


图 1-1 发电厂的日负荷曲线

发电厂根据所利用能量形式的不同可分为以下几种: (1)火力发电厂; (2)水力发电厂; (3)原子能发电厂; (4)风力发电厂; (5)其他,如太阳能发电厂和地热发电厂等。发电厂也可以根据用户的性质和供电的范围分类:如区域性发电厂、城市发电厂、工业企业发电厂、农业发电厂和专用发电厂等。

目前动力系统中主要是火力发电厂和水力发电厂。近几年来某些国家也开始兴建原子能发电厂。其他如风力、太阳能、地热发电厂等,由于建设条件特殊、容量限制和技术复杂等原因,至今建造较少。

下面将火力、水力和原子能发电厂的生产过程及其特点,作一简单介绍:

**火力发电厂** 在火力发电厂中,燃料的化学能被转换为电能。燃料有固体、液体和气体等三种。固体燃料主要是煤,液体燃料多为重油等,气体燃料主要为天然气,冶金工厂中的发电厂也采用鼓风机的气体和焦炭气。液体燃料的发热量虽然较高,但比较贵。因此,只在不可能应用其他燃料时才采用它。

煤是工业的粮食,尤其优质煤是国民经济中许多工业(如冶金等)所必需的。因此,为合理使用国家资源、节约运输力和降低成本,应尽量利用当地的劣质煤来发电。

火力发电厂根据原动机的不同又可分为: (1)汽轮机发电厂; (2)蒸汽机发电厂; (3)内燃机发电厂; (4)燃气轮机发电厂。

汽轮机发电厂又分凝汽式的和兼供热式的两种。

最简单的凝汽式汽轮机发电厂的生产过程如图1-2所示。

这种发电厂燃用块煤。块煤从煤场由运煤机械(通常为运煤皮带)送入锅炉前的煤仓,煤从煤仓中落到炉膛的链条炉篦上分层燃烧,使锅炉中的水加热,变为蒸汽。燃烧后产生的烟气由引风机抽出经烟囱排至大气中。锅炉中产生的蒸汽经管道引进汽轮机,推动汽轮机转动而带动发电机。发电机发出的电能送至母线,然后由引出线送入电网供给用户使用。



蒸汽在汽轮机中作过功后排入凝汽器，此时汽温和汽压大大降低。进入和排出汽轮机的蒸汽压力差愈大，其热能转变为机械能的部分就愈大。当进汽压力一定时，为了获得较大的汽压差，应使排入凝汽器的乏汽(排汽)迅速凝结，以保持其中有较低的汽压(低于大气压)。为此，利用大量的循环水，将不断进入凝汽器的排汽迅速地冷却和凝结；同时，将漏入的空气(由于不严密)用抽气器抽出。所以，发电厂附近应有足够的水源——河流、湖泊或水井等，以保证供给所需的大量循环水(通常为排汽量的50~80倍)。如果没有足够的水源时，可利用一定量的循环水，由专门的装置(如冷却水塔、喷水池等)不断冷却，循环使用。

排汽在凝汽器中凝结成水后，由凝结水泵输入给水箱，再经给水泵输入锅炉，这样构成水汽的循环系统。

在这种发电厂中，很多热量未被利用，如煤块燃烧不完全，烟气的余热排入大气，汽轮机的排汽也还含有很大的热量(凝汽器压力为0.04大气压时，排汽的含热量为550大卡/公斤)，其大部分热量被循环水带走而损失掉了。此外，锅炉、汽轮机和管道等元件，也有热的损失。因此，图1-2所示发电厂的效率极低，一般不超过16~18%。

为了提高凝汽式发电厂的效率，应尽量减少和利用上述各部分损失的热量，采用效率较高的机组。提高效率的方法有下列几点：

1. 采用煤粉燃烧，可使煤燃烧完全。
2. 抽出在汽轮机中作过一部分功的蒸汽加热给水(所谓给水回热循环)，使排汽量减少，因而减少了被循环水带走的热量；同时增高了进入锅炉的给水温度。
3. 利用烟气的余热加热进入炉膛的空气和进入锅炉的给水。
4. 采用效率较高的大容量机组。
5. 提高蒸汽的压力和温度。

图1-3所示为燃煤粉凝汽式发电厂生产过程的大概情况。煤块从煤场送入碎煤机压成碎块后，由运煤皮带送入原煤仓。然后在磨煤机中磨成煤粉，储入煤粉仓内。煤粉仓中的煤粉由给粉机运送，并由鼓风机供给的热空气经喷燃器吹入炉膛。煤粉在炉膛中以悬浮状态燃烧，温度很高。煤粉在炉膛内燃烧时所需的空气，是由鼓风机从外部吹入的。空气进入炉膛以前，在空气预热器中被烟气加热，以减少烟气的热损失，并提高炉膛的温度。

给水在进入锅炉以前，经一个或几个(图中仅画出一个)加热器，由汽轮机中段抽汽加热。除氧器的作用是清除给水中的气体(特别是氧气)，防止它们对锅炉和管道的侵蚀；此外，给水还经过省煤器被烟气加热。所有上述措施都使给水温度增高，可减少燃料的消

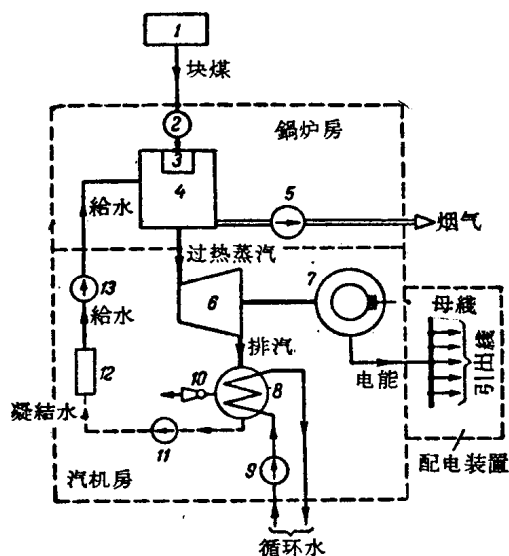


图1-2 燃煤块煤的凝汽式汽轮机发电厂生产过程略图

1—煤场；2—煤仓；3—炉膛；4—锅炉；5—引风机；6—汽轮机；7—发电机；8—凝汽器；9—循环水泵；10—抽气器；11—凝结水泵；12—给水箱；13—给水泵。

耗。在整个生产过程中，蒸汽和水总有一部分损失掉或被发电厂本身用掉了，所以必须有补充水不断补入。补充水首先经过化学处理之后，再加入除氧器。

图1-3所示发电厂生产过程的其他部分与图1-2中相同。

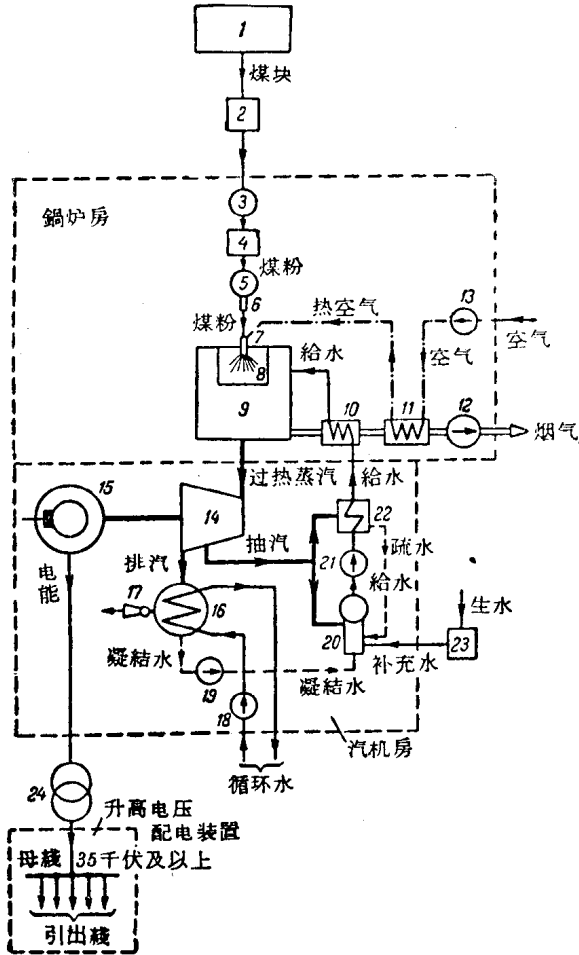


图 1-3 燃用煤粉的凝汽式汽轮机发电厂生产过程略图

1—煤场；2—碎煤机；3—原煤仓；4—磨煤机；5—煤粉仓；  
6—给粉机；7—喷燃器；8—炉膛；9—锅炉；10—省煤器；  
11—空气预热器；12—引风机；13—鼓风机；14—汽轮机；  
15—发电机；16—凝汽器；17—抽气器；18—循环水泵；  
19—凝结水泵；20—除氧器；21—给水泵；22—加热器；  
23—水处理设备；24—升压变压器。

电力系统中的凝汽式发电厂，可以担任系统日负荷曲线的任一部分负荷（峰荷、腰荷或基荷），也可作为系统的事故备用或检修备用。

图1-4所示为一大型区域火力发电厂主要建筑物布置的全貌。

图1-5为燃用煤粉的兼供热式汽轮机发电厂生产过程略图（图中仅画出了与凝汽式发电厂图1-3不同的部分）。兼供热式发电厂（简称热电厂）不仅向用户供给电能，而且供给热能。因为某些工业企业（如纺织厂、化肥厂、钢铁厂、造纸厂等）和城市居民，不但需要用电而且需要蒸汽和热水。

供给热能用户的蒸汽和热水是利用汽轮机中段的抽汽（图1-5）。工业企业生产上所需

由上述对发电厂生产过程的讨论，可见在发电厂中需要用许多辅助机械（风机、水泵等）为主要机组（锅炉和汽轮机）服务，它们都是用电动机拖动的。因此发电厂除向用户供电外，还必须有一部分自用电（厂用电）供厂用电动机和照明使用。

凝汽式发电厂的效率一般较低，如汽轮机容量为50兆瓦以下的中温中压（蒸汽压力为29~35大气压，温度为400~435°C）发电厂，效率在25~28%以下。汽轮机容量为50兆瓦以上的高温高压（压力为90大气压，温度为500°C）和超高温超高压（压力为170~220大气压，温度为550~650°C）的发电厂的效率也只有30~40%。可见凝汽式发电厂中燃料的大部分发热量未被利用。

根据用户负荷的需要或燃料资源等不同情况，可将凝汽式发电厂建成各种容量的。建厂地址既可在燃料产地，也可在用户中心。建在燃料产地的多为大容量的区域性发电厂。这种发电厂的主要特点是发电机电压的负荷很小或没有，全部或大部分电能用升高电压（35千伏及以上）送给远方用户或电力系统。图1-3所示，发电机发出的电能，经升压变压器送至升高电压母线后由架空线引出，而无发电机电压母线。

的蒸汽，由汽轮机中段抽出直接供给，其压力、温度和数量由用户的需要决定。生产和生活上所需的热，是利用抽汽经加热器使水加热。水泵将热水输入热力网，供给用户。抽汽在加热器中凝结成的水由水泵输入除氧器。

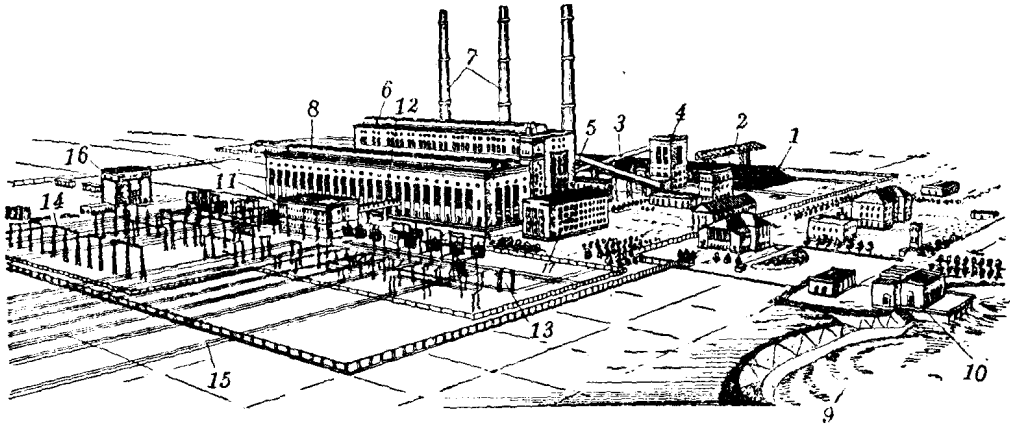


图 1-4 大型区域火力发电厂主要建筑物布置全貌

1—煤场；2—桥式抓煤机；3—从煤场到碎煤机的封闭式输煤栈桥；4—碎煤机间；5—从碎煤机到锅炉车间原煤仓的封闭式输煤栈桥；6—锅炉车间；7—烟囱；8—汽轮机车间；9—水库；10—岸边水泵房；11—主控制室；12—天桥；13—110千伏屋外配电装置；14—220千伏屋外配电装置；15—110千伏架空引出线；16—变压器修理间；17—生产办公楼。

热电厂中由于利用了汽轮机的一部分抽汽，使进入凝汽器的排汽量减少，也减少了被循环水带走的热量，因而其热电联合生产效率达60~70%或更高。但必须指出，热电厂的效率是随着供出之蒸汽量而改变的，进入凝汽器中的排汽量愈少，其效率愈高。如果完全不供出蒸汽——即以凝汽式方式运行，

发电厂的效率一般不超过28~32%。由热电厂供电兼供热，较用凝汽式发电厂供电和从专门的锅炉装置供热可节省燃料20~25%。

热电厂最经济的工作状况，是按照热用户的热负荷曲线工作，即根据热用户蒸汽和热水的需要量，调节汽轮机的进汽来满足相应的抽汽量，使进入凝汽器的排汽量最少。但是，热用户和电用户的工作状况不同，要保证热电厂的经济运行，它应与其他类型的发电厂并联工作。这样，热电厂便可以根据热负荷进行工作。相应于热负荷而生产的电能，如果超过其电用户的需要时，可将多余部分送入系统，以减少其他电厂的负荷；如果不能满足电用户的需要时，可由系统中其他发电厂补充供给。

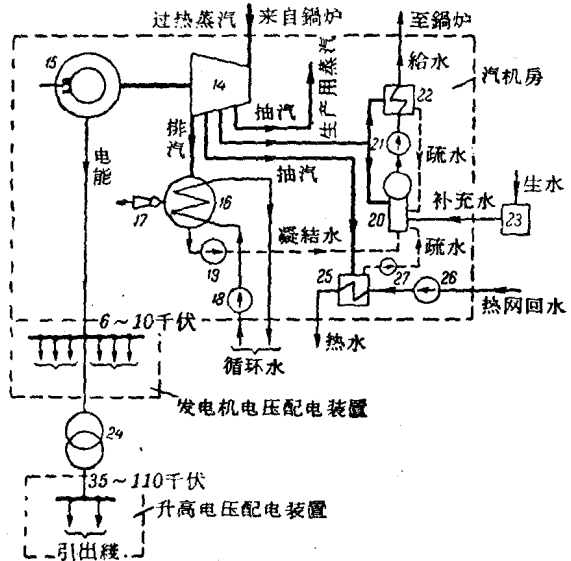


图 1-5 燃用煤粉的兼供热式发电厂生产过程略图

14—汽轮机；15—发电机；16—凝汽器；17—抽气器；18—循环水泵；19—凝结水泵；20—除氧器；21—给水泵；22—加热器；23—水处理设备；24—升压变压器；25—加热器；26—回水；27—泵。

热电厂应建設在热用戶附近。因为所供的蒸汽和热水不能輸送太远，否則会使压力和温度大大降低，不能滿足用戶的要求。电厂生产出来的电能，主要是用发电机电压供給附近用戶(图1-5)。同时，为了供給远方用戶或与电力系统联接，发电厂中还建立了升压变电所。

蒸汽机发电厂和內燃机发电厂，多用于向农业、林业、小城镇、地质勘探和土建施工等供电，容量一般不大，很少加入动力系统工作。在我国农村中，鍋駝机用得最廣，它由鍋炉和蒸汽机組成，除可带动发电机发电外，也常用来直接带动水泵及其他农业机械。內燃机发电厂中的原动机常用的是柴油机。

燃气輪机发电厂中的原动机是一种新型的热力发动机——燃气輪机，它用重油、煤粉等作燃料，在燃气輪机內直接燃燒。目前，其技术尚处于发展和不断完善的阶段。

**水力发电厂** 水力发电厂是利用河水从上游流到下游时位能的变化，将水能轉換为电能的装置。发电机的原动机是水輪机，通过水輪机将水能轉換为机械能。水輪机带动发电机，将机械能轉換成电能。水力发电厂的发电总容量可由下式計算：

按工程实用单位 1 米<sup>3</sup>水重为 1000 公斤。1 瓩 = 102 公斤-米/秒。

$$S = \frac{1000QH}{102} \eta = 9.81QH\eta(\text{瓩}), \quad (1-1)$$

式中  $Q$ ——通过水輪机的水流量，米<sup>3</sup>/秒；

$H$ ——水力发电厂的水头(上游和下游水的落差)，米；

$\eta$ ——水力发电厂的总效率(考虑到水輪机、发电机、引水建筑物、傳动設備等能量損失时的总效率，现代水力发电厂一般为 0.85~0.86)。

由公式(1-1)可見，水力发电厂的容量与水的流量以及水头的大小成正比。在河水流量一定时，要获得較大的发电容量，必須有較高的水头(落差)。但大多数情况下，水位的落差是沿河流分散的，因此，必須用人工的方法造成較大的集中落差。最常用的方法，是在河流上建筑拦河坝，形成水庫，抬高上游水位，使坝的上下游形成大的水位差。这种水电厂称为堤坝式水电厂，它又可分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂的厂房建筑在拦河坝后面，它不承受水的压力，因而适合于高水头(水头高于 20~30 米)的水电厂。河床式水电厂的厂房与拦河坝相接，成为坝的一部分，故适用于低水头(水头低于 30~35 米)的水电厂。另一种集中落差的方法是利用引水道。在有相当坡度的弯曲河段上游筑一低坝，擋住河水，然后用引水道将水直接引至河段的末端。因此，这种发电厂称为引水式发电厂。在某些情况下，也可以将上述两种方式結合，由坝和引水道分别集中一部分落差。这种电厂称为混合式的水电厂。

图1-6为坝后式水电厂总平面图。在混凝土拦河坝 3 內有压力进水管 9。

图1-7为坝后式水电厂橫断面图。水由上游水位 1 沿压力进水管 4 进入水輪机的蜗壳 8，水經蜗壳內导輪上导叶的控制后，冲动水輪机的轉子 9，然后通过尾水管 10 流至下游水位 2。

发电机 11 装在发电机間 12 內(在坝 3 的后面)，它的軸与水輪机的軸直接連接。生产出来的电能送入发电机电压的屋內配电装置 14 中，經它再送至屋外升压变压器 15，从变压器沿架空綫 16 送至屋外升压配电装置(图 1-6 中未画出)，再送入电力系统。鋼綫 17 是防止架空輸电綫直接受到雷击的避雷綫。

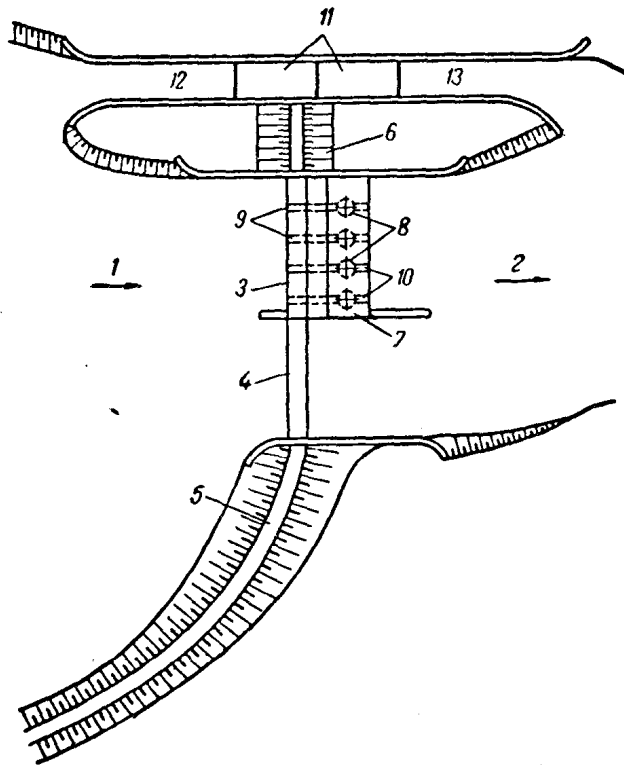


图 1-6 坝后式水电厂总平面图

1—上游水位；2—下游水位；3—非溢洪混凝土坝；4—溢洪混凝土坝；5和6—土坝；7—厂房；  
8—水轮机；9—压力进水管；10—尾水管；11—两个室内闸门；12和13—航道。

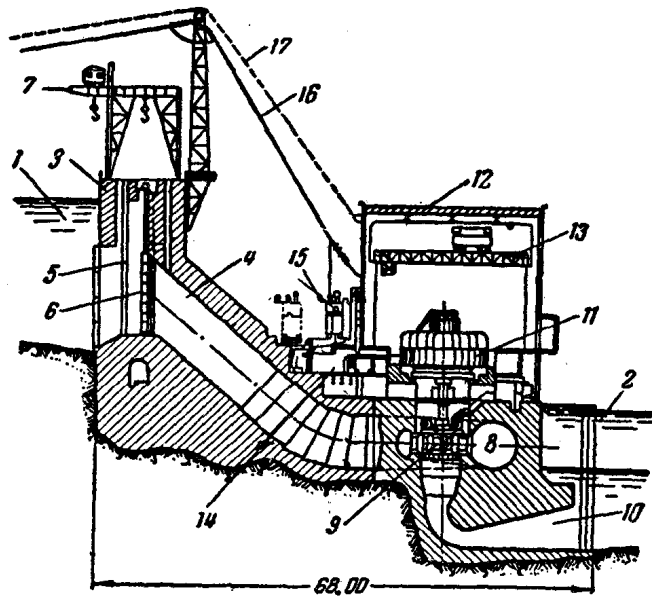


图 1-7 坝后式水电厂横断面图

閘門 6 用来开闭进入压力进水管 4 的水，檢修它时需放下槽 5 內的檢修閘門。閘門的提升和放下用吊車 7。厂房內的桥式吊車 13 用于机組的安装和檢修。

社会主义国家开发水利資源，不仅为了发电，而且还要綜合利用，以同时滿足国民經济其他部門的需要，如灌溉、防洪、航运、工业和城市用水、漁业等。

水力发电厂生产过程比較簡單，易于实现全盘自动化，檢修工作量也較小，因此，工作人員較火力发电厂少得多。水力发电厂不消耗燃料，所需自用电也少，年运行費用很低。但是水力发电厂建設投資較大，建設期限較长，运行中受天然水情影响較大。

可用于发电的大型水力資源，一般总是离用戶較远。因此，在这些地方建設的水力发电厂生产出来的电能，大都是直接升压，經由 35 千伏及以上的綫路送入电力系统。它与电力系统的連接情况类似区域火力发电厂(图 1-3)。

在系統中与其他类型发电厂并联工作的水力发电厂，可以担任基荷和腰荷，并且由于水輪机能很好地适应負荷变化，因此也宜于担任系統中的尖峰負荷和用于調整頻率。这样可以提高火力发电厂的效率，减少其燃料的消耗，使整个系統运行的經濟性提高。此外，水輪发电机組启动迅速、运行灵活，因此水力发电厂担任系統中的事故备用也很恰当。

我国水力資源极为丰富，地质条件优越，并且大多数能收到綜合利用的效益。目前我国已建成了許多大、中型水力发电厂，在农村中小型水电厂更为普遍。今后我国水力发电事业一定会有极大的发展。

利用潮汐能发电的潮汐发电厂，也是水力发电厂的一种。在海湾入口处筑坝，将海湾与海洋隔开。漲潮时，海洋的水位高于海湾的水位，这时可以将海洋中的水放入海湾发电。落潮时，海洋的水位下降，低于海湾的水位，这时可以从海湾中将水放回海洋发电。

潮汐发电在某些国家已有較大的发展。但由于其水輪机組制造較复杂，耗費鋼材較多，所以它的发展受到一定的限制。我国海岸綫很长，港湾交錯，蘊藏着丰富的潮力資源，可用于发电。

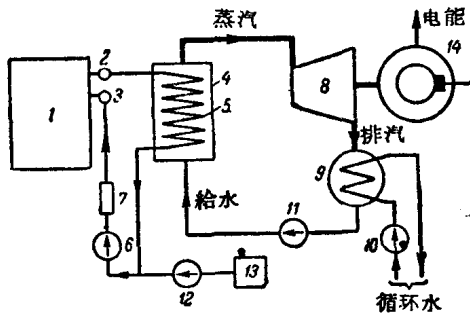


图 1-8 原子能发电厂生产过程簡图

1—原子反应堆；2和3—集合器；4—蒸汽发生器；5—水管；6—循环水泵；7—过滤器；8—汽轮机；9—凝汽器；10—循环水泵；11—给水泵；12—水泵；13—水箱；14—发电机。

**原子能发电厂** 图 1-8 为原子能发电厂生产过程簡图。由图中可以看出，原子能发电厂和一般火力发电厂的基本原理大致相同，所不同的是原子能发电厂中用原子反应堆 1 和蒸汽发生器 4 代替了一般火力发电厂中的鍋炉设备。而发电设备仍为普通的汽轮机 8 和发电机 14。

原子能发电厂的能源是原子反应堆 1。在反应堆內，鈾 ( $U^{235}$ ) 在慢中子的撞击下产生鏈式反应，使原子核分裂，放出巨大的能量。为了使慢中子能更有效的使鈾原子核分裂，利用石墨作减速剂。

从图 1-8 中可以看出，在原子能发电厂中水的循环有两个独立回路。第一个回路由反应堆 1、蒸汽发生器 4 內的水管 5 和循环水泵 6 組成。在循环水泵的作用下，压力为 100 大气压的蒸餾水不断地在回路內循环着，水經過反应堆內部时被加热到  $270^{\circ}\text{C}$ ，然后进入蒸汽发生器。在蒸汽发生器內将自身的热量傳給第二回路中的給水，并使它变为蒸汽。过滤器 7 是为了防止悬浮的固体质点进入反应堆內。为了补充和更換第一回路內的水，装設



了水泵12和水箱13。

第二路由蒸汽发生器4、汽轮机8、凝汽器9和給水泵11組成。在蒸汽发生器內产生的蒸汽，沿蒸汽管道进入汽轮机作功。作完功的蒸汽进入凝汽器，在凝汽器內蒸汽被由循环水泵10供給的循环水冷却而凝結。最后由給水泵11将凝結水輸回蒸汽发生器。

原子能发电厂所需要的原料极少。例如：一个5000瓩的原子能发电厂在一昼夜內仅消耗30克鈾，而与它同容量的凝汽式火力发电厂却要消耗100~110吨煤。

原子能发电厂可以建成凝汽式发电厂或兼供热式发电厂。

### 1-3 发电厂的电气設備簡述

发电厂生产的电能通常需要送給不同距离的用户。电能輸送的距离越远，功率越大，需要的电压越高。因为輸送相同的功率时，电压越高，电流就越小，这样可以减少綫路中的电能損耗和采用較小截面的导綫。但不能由此得出結論：輸送电能的电压愈高愈好。因为所用的电压越高，电气設備的价格和建造輸电綫路的投資也越大，可能反而不經濟。究竟采用多高电压合理，需經過技术經濟計算决定。

发电机和用电设备的电压由于制造和运行方面的某些限制，不宜太高（国家有統一規定，見表1-1）。但是为了經濟起見，一般輸电电压要比发电机和用电設備的电压高許多倍。因此，电能从发电厂送到用户，往往中間需經变压器几次升压和降压。

目前我国电能的生产、輸配和使用中，除广泛采用頻率为50周波的三相交流系統以外，在某些工业企业中，还需用直流电能，如化学工业、冶金工业和电气机車等。近年

表1-1 額定电压

用电设备的額定电压(伏)			发电机的額定电压(伏)		变压器的額定电压(伏)			
直 流	三 相 交 流		直 流	三 相 交 流	交 流			
	相間电压	相 电 压			三 相		单 相	
					原 边 繞 組	副 边 繞 組	原 边 繞 組	副 边 繞 組
110	—	—	115	—	—	—	—	—
	127	—	—	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	(230)	220	230
	380	220	—	400	380	400	380	—
440	—	—	460	—	—	—	—	—
—	3000	—	—	3150	3000及3150*	3150及3300	—	—
—	6000	—	—	6300	6000及6300*	6300及6600	—	—
—	10000	—	—	10500	10000及10500*	10500及11000	—	—
—	(15000)	—	—	15750	15750	—	—	—
—	(20000)	—	—	—	—	—	—	—
—	35000	—	—	—	35000	38500	—	—
—	60000	—	—	—	60000	66000	—	—
—	110000	—	—	—	110000	121000	—	—
—	154000	—	—	—	154000	169000	—	—
—	220000	—	—	—	220000	242000	—	—
—	330000	—	—	—	330000	363000	—	—

注：本表括号內的数字，只用于矿井下或其他保安条件要求較高的場所。

来，某些国家也开始建設超高压的直流輸电綫路，輸送很大功率至很远距离。

1956年，我国規定了电力设备的統一电压标准（表1-1）。須要指出，額定电压的等級，是根据国民經济发展的需要、技术經济的合理性以及电机电器制造工业的水平等因素确定的。

用电设备（电动机、电灯等）、发电机和变压器的額定电压，是指它們在正常工作时所規定的并有最大經济效果的电压。电网的額定电压則是用它所連接的用电设备的額定电压。

发电机的額定电压。考虑到在正常負荷时电网中的电压損失，它的数值比所接电网的額定电压高5%。1000伏以下的額定电压仅用于小容量的发电机，3.15千伏用于6000瓩及以下容量的发电机，6.3千伏广泛用于750~50,000瓩各种容量的发电机，10.5千伏用于12,000~100,000瓩的发电机，15.75千伏則仅用于100,000瓩及以上上的发电机。水輪发电机如經計算，认为在技术和經济上有特殊优点时，允許采用非标准电压，例如13.8千伏已广泛地用于70,000瓩及以上的水輪发电机。

变压器原边繞組的額定电压。升压变压器一般是与发电机电压母綫或与发电机直接連接，其原边繞組的額定电压与发电机的額定电压相同（表1-1中有“\*”的数字）。降压变压器相当于电网的用电设备，其原边繞組的額定电压等于它所接电网的額定电压。

变压器副边繞組的額定电压。考虑到电网和变压器繞組中的电压損失，其值比所接电网的額定电压高5~10%（变压器副边的供电綫路很短或变压器的短路电压值較小时，采用5%，否則采用10%）。

网络的額定电压。对城市和大工业企业的供电，一般采用6千伏或10千伏电压网络。35千伏以及更高的电压用于向远方輸送电能，輸送的距离可由几十公里到几百公里。小功率电动机的供电电压为380伏和220伏两种。大功率电动机用3千伏或6千伏。10千伏一般用于供电給几千瓩的电动机。照明供电一般采用380/220伏的三相四綫制网络，电灯接在相綫与中性綫之間的220伏相电压上。

电压为110伏和220伏的直流网络，广泛应用于发电厂和大、中型变电所的自用电中，供电給继电保护、自动装置、事故照明和信号设备等。特殊用途的直流装置所用的电压另有規定，表1-1中未列入。

习惯上把电力装置和设备分为高压和低压的两种，1000伏以上的为高压，1000伏以下的为低压。这样区分是由于这两种电压的设备构造、装置的建造和使用規則不同，絕不表明它們对人身的安全程度。

发电机、变压器、电动机和其他电器的額定电流是指在周圍介质一定的計算温度下，允許长期連續通过它的最大电流，并且此时设备的絕緣和載流部分被长期加热的温度不超过所規定的容許值。

我国所采用的周圍介质的計算温度如下：

电力变压器和电器（周圍空气的温度）	40°C
发电机（利用空气冷却时进入的空气温度）	35~40°C
放在空气中的裸綫、絕緣綫、母綫和电力电纜	25°C
埋入地下的电力电纜	15°C

电机、变压器和电器各部分的长期容許加热温度与絕緣的种类、計算使用年限和触头

的容許加热温度等有关，国家对此都有規定，并闡明在相应的技术規范中。

此外，对发电机和变压器等还規定有額定容量，其决定条件与額定电流相同。相应于額定容量 $S_{НОМ}$ 的額定电流 $I_{НОМ}$ ，可由下式决定：

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3}U_{НОМ}}, \quad (1-2)$$

式中  $U_{НОМ}$ ——设备的額定电压。

发电机的額定容量用有功功率(瓩)或視在功率(千伏安)和功率因数表示。因为发电机的原动机只能供給它有功功率，所以发电机的額定容量一般用有功功率值表示。国产汽輪发电机的技术数据見附录 1，水輪发电机的見附录 2。

变压器的額定容量規定为視在功率(千伏安)，是指副边繞組为額定电压下的容量。国产变压器的技术数据見附录 3。在附录 3 表 6 中还列出苏联出产的自耦变压器的数据。

为便于学习本书以后各章，下面对发电厂电气部分和所用基本电气设备的用途作一簡略介紹。

发电厂电气部分的主要工作，是根据負荷变化的要求，起动、調整和停止机組；对电路进行必要的切换；不断監視主要设备的工作；周期性地檢查和維護主要设备；定期檢修设备以及迅速消除发生的故障等。根据上述要求，发电厂中应設有下列主要电气设备：

1. 生产和变换电能的设备：如生产电能的发电机，变换电能电压的变压器，拖动发电厂中輔助机械运转的电动机。

2. 接通和断开电路的开关设备：用以在各种运行条件下开閉和切换电路，如断路器、隔离开关、空气自动开关、接触器、閘刀开关等。

3. 限制故障电流或过电压的设备：如限制故障电流的电抗器，限制过电压的避雷器。

4. 保护电器：用以反映故障，作用于信号通知工作人员，作用于开关电器的操作机构以切除故障，如各种继电器。

5. 测量和监察设备：用于監視和测量电路中的电流、电压和功率等参数，如各种测量和监察仪表，給测量仪表和继电器供电的輔助设备——电流互感器和电压互感器等。

除上述设备外，发电厂中还有直流设备，如蓄电池等，給信号、操纵和保护设备以及事故照明等供电。

电气设备又可分为一次设备和二次设备。

一次设备是直接生产和輸配电能的设备，經由这些设备，电能从发电厂送到各用户。如发电机、变压器、开关电器、电力电纜等。

二次设备是对一次设备的工作进行监察测量和操纵控制的輔助设备。如仪表、继电器、控制电纜、自动操纵及信号设备等。

在发电厂中，各种电气设备根据工作的要求和它們的作用，依一定的次序用导綫連结成电路(結綫)。一次设备連成的电路称为主电路(电气主結綫)或一次电路；二次设备連成的电路称为副电路或二次电路。电路图用一定的图形符号描述出主要设备以及各电器之間的連接情况。常用的设备图形符号如表 1-2 所示。

电路图可分为单綫图和三綫图两种。单綫图仅描繪出三相交流电路一相的連接情况，因为三相的设备相同，所以这样做是可以的。三綫图則描繪出三相的全部设备，比較复杂，不如单綫图簡單清晰，尤其复杂电路的三綫图看起来很不方便，所以在設計、运行和