

177098

TK267
1354

小型火力发电厂 汽轮机设备及运行

修订版

西安电力学校汽轮机教研组

水利电力出版社

小型火力发电厂汽轮机设备及运行

修 订 版

西安电力学校汽轮机教研组

*

水利电力出版社出版、发行

(现中国电力出版社)

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

中国农业出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17.5印张 393千字 2插页

1974年2月初版

1987年6月第二版 1996年2月北京第六次印刷

印数 73131—83170 册

ISBN 7-120-00791-2/TK·135

定价 18.60 元

内 容 提 要

本书是以国产1500~6000kW凝汽式和供热式汽轮机为主,对其工作原理、典型结构、调节原理及其部套、调节系统的整定和机组运行、事故处理等进行深入浅出的分析。考虑到地热电站的发展,还适当地介绍了低压汽轮机方面的内容。

本书插图大多采用设备实际结构图,并附有立体图和有关机组的技术资料。

本书适合小型火力发电厂及工业企业自备电站中从事汽轮机运行和检修的工人作培训教材和自学之用,也可供这类电站的技术人员、管理人员参考。



修 订 版 前 言

为了满足国民经济发展的需要，我们在举办多期小型火力发电厂培训班教学实践的基础上，于1973年编写了《小型火力发电厂汽轮机设备及运行》一书，与《小型火力发电厂锅炉设备及运行》、《小型火力发电厂电气设备及运行》配套，作为小型火力发电厂运行及检修人员的培训教材。

本书第一版于1974年出版，1975年即作第二次印刷，颇受读者欢迎。近年来，随着工业余热的利用以及地热资源的开发，特别是大量工业企业自备电站和地区性小型火力发电厂的建立，都迫切希望能有关于小型火力发电厂汽轮机设备方面的书籍，以满足技术培训的要求。这一时期，水利电力出版社和我们都不断接到读者来信，希望《小型火力发电厂汽轮机设备及运行》一书能修订再版。为此，我们接受水利电力出版社的委托，对该书进行全面修订。这次修订主要做了如下一些调整：为了突出重点，再考虑到目前已有较多品种的热工基础和水泵方面的读物，决定删去原书第二章热工基础知识及第五章中水泵的部分内容，相应也删去了附录部分；考虑到小型火力发电厂发展的趋势，适当扩充了典型机组的容量，删节了部分过时的旧型机组的内容；为配合热电联产的发展，增加了供热式汽轮机方面的内容。此外还适当介绍了工业企业利用余热发电和地热等新能源开发利用的技术。我们希望这次修订能使本书的内容更切合当前电力事业发展的需要，能更好地满足广大小型机组运行检修人员的学习要求。

本书第一版由田金玉、刘大同、李馥、高体基等同志编写，参加这次修订的同志有田金玉（第一、四章）；李馥（第二章）；蔡长满（第三章）；高体基（第五章）。本书第一版和修订版均由李馥同志校阅统稿。

本书修订过程中曾得到青岛汽轮机厂设计科的帮助，他们为我们提供了宝贵的资料，对此我们深表谢意。

由于我们的业务水平及实践经验有限，修订版中仍可能存在不妥或错误之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1986年元月

目 录

修订版前言

第一章 火力发电厂的生产概况	1
第一节 火力发电厂的基本生产过程.....	1
第二节 小型火力发电厂的参数、容量和分类.....	4
第三节 余热发电.....	6
第四节 地热发电.....	8
第五节 热电联产的发电厂.....	10
第六节 火力发电厂的效率和经济指标.....	11
第二章 汽轮机本体	16
第一节 汽轮机的基本概念及其分类.....	16
第二节 汽轮机的基础和机座.....	22
第三节 汽缸及其热膨胀.....	24
第四节 喷嘴和隔板.....	30
第五节 动叶片.....	39
第六节 通流部分在运行中应注意的问题.....	52
第七节 轴封.....	56
第八节 转子.....	60
第九节 主轴承和推力轴承.....	66
第十节 联轴节.....	72
第十一节 盘车装置.....	73
第十二节 减速器.....	75
第十三节 汽轮机的损失及效率.....	77
第十四节 汽轮机的变工况.....	84
第十五节 国产典型中、小功率汽轮机介绍.....	89
第三章 汽轮机调节	105
第一节 汽轮机调节的基本概念.....	105
第二节 国产小型凝汽式汽轮机的调节系统.....	107
第三节 调节系统的静态特性.....	118
第四节 同步器.....	125
第五节 保护装置.....	132
第六节 供油系统.....	143
第七节 调节系统的试验及调整.....	148

第八节	调节系统的常见缺陷及消除	159
第九节	供热式汽轮机的调节	162
第四章	汽轮机组的辅助设备及热力系统	171
第一节	组成热力系统的管道和附件	171
第二节	汽轮机组热力系统	175
第三节	凝汽设备	186
第四节	给水回热设备和系统	206
第五节	给水除氧设备和系统	209
第六节	发电厂的供水	218
第五章	汽轮机组的运行	228
第一节	汽轮机的启动	228
第二节	汽轮机启动过程的理论分析	234
第三节	汽轮机的热态和半热态启动	236
第四节	无电源启动	237
第五节	汽轮机的停机	239
第六节	汽轮机的变工况运行	243
第七节	汽轮机组的运行和维护	248
第八节	调整抽汽式汽轮机和背压式汽轮机的运行	257
第九节	汽轮机组的故障、事故及其处理	259

第一章 火力发电厂的生产概况

利用燃料（煤、石油、天然气等）中蕴藏的化学能，在锅炉内燃烧变成蒸汽的热能。在汽轮机内将蒸汽热能变成机械能带动发电机发电的发电厂，称为火力发电厂。

第一节 火力发电厂的基本生产过程

图1-1所示是一座小型火力发电厂的生产流程图，它的主要系统包括锅炉的燃烧系统、汽轮机的汽水系统、发电机及其电气系统。从能量转换的观点来看：在锅炉内燃料的化学能转变成了蒸汽的热能；在汽轮机内蒸汽的热能转变为轴的旋转运动的机械能；在发电机内机械能转变成了电能。

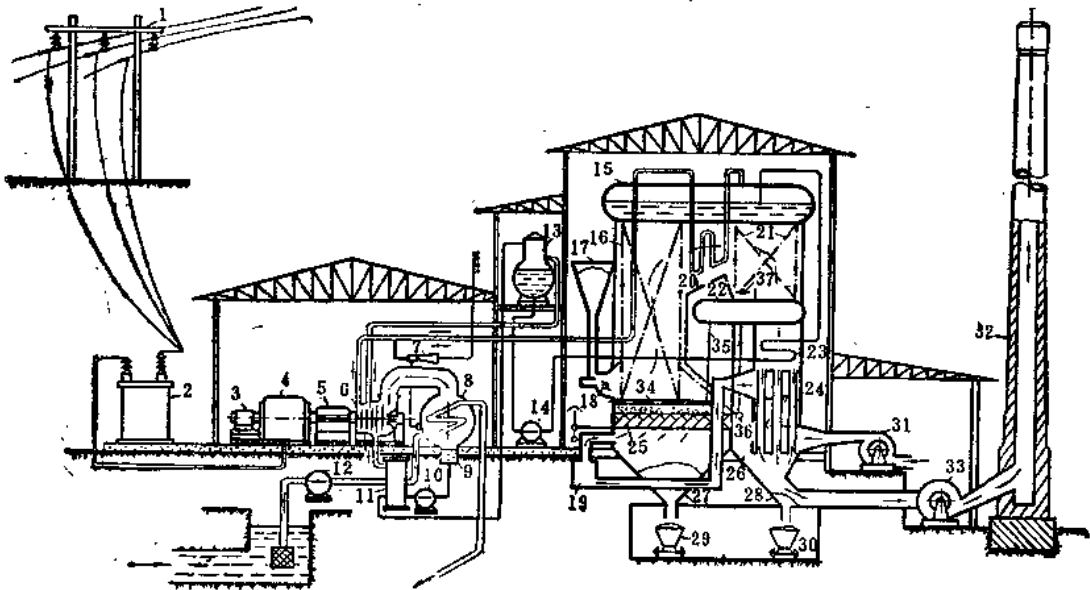


图 1-1 小型火力发电厂生产流程示意图

1—出线塔杆；2—主变压器；3—励磁机；4—发电机；5—减速器；6—汽轮机；7—抽气器；8—凝汽器；9—热水井；10—凝结水泵；11—加热器；12—循环水泵；13—除氧器；14—给水泵；15—上汽包；16—上升管（水冷壁）；17—煤斗；18—给煤机；19—一次风道；20—过热器；21—水排管管束；22—下汽包；23—省煤器；24—空气预热器；25—手摇炉排；26—旁通烟道；27—灰渣斗；28—细灰斗；29、30—推灰渣小车；31—送风机；32—烟囱；33—引风机；34—侧墙下联箱；35—下降管；36—后墙下联箱；37—旁通烟道风门

一、燃料、燃烧系统

燃料、燃烧系统包括输煤系统（煤粉炉还包括煤粉制备系统）、锅炉、除尘除灰系统等。

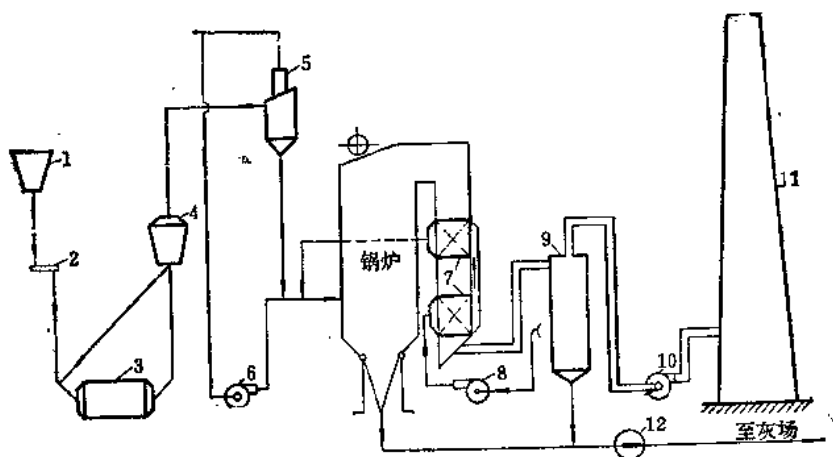


图 1-2 煤粉炉燃烧系统流程图

1—原煤斗；2—给煤机；3—钢球磨煤机；4—粗粉分离器；5—细粉分离器；6—排粉风机；7—空气预热器；8—送风机；9—除尘器；10—吸风机；11—烟囱；12—灰渣泵

图1-2所示为煤粉炉的燃烧系统流程图。

煤由皮带输送机输送到锅炉房原煤斗中，经给煤机送入磨煤机磨制成煤粉，然后由排粉风机来的一次风携带煤粉喷入炉膛内燃烧，同时将空气预热器来的热风（二次风）吹入炉膛助燃，燃烧后的热烟气经锅炉尾部烟道、除尘器后由吸风机抽出并经烟囱排至大气。

炉膛下部排出的炉渣和除尘器下收集的细灰由灰渣泵送至灰场。

二、汽水系统

火力发电厂的汽水系统是由锅炉、汽轮机、凝汽器、水泵、加热器等组成，如图 1-3 所示。

水在锅炉内首先加热蒸发成饱和蒸汽，然后经过过热器进一步加热成为过热蒸汽，再经新蒸汽管道送入汽轮机。

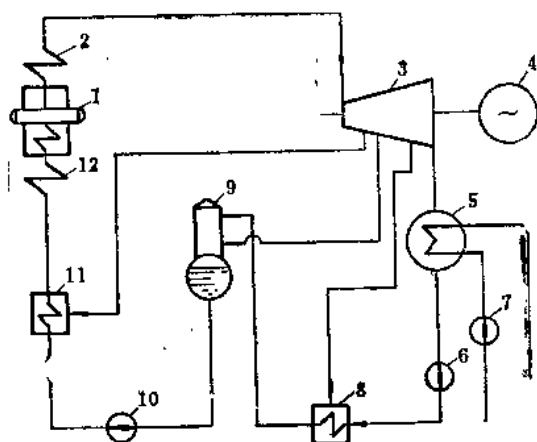


图 1-3 汽水系统图

1—汽包；2—过热器；3—汽轮机；4—发电机；5—凝汽器；6—凝结水泵；7—循环水泵；8—低压加热器；9—除氧器；10—给水泵；11—高压加热器；12—省煤器

在汽轮机中，蒸汽在喷嘴和动叶片中不断膨胀将热能转变为动能，进而在动叶片中又将动能转变为机械能（汽轮机转子的旋转运动），带动发电机发电。蒸汽在膨胀过程中压力、温度不断降低，最后排入凝汽器。

在凝汽器中，汽轮机的排汽被冷凝成水。凝结水经凝结水泵升压后再经低压加热器进入除氧器，除去溶解在水中的氧气，然后经给水泵进一步升压再经高压加热器进入省煤器。

发电厂的汽水系统中，不可避免地存在着一些汽水损失，必须及时地向系统内补充经过处理的水，补充水通常是补入除氧器或凝汽器。

三、电气系统

1. 发电机

发电机是把机械能转变为电能的一种电气设备。发电机的静止部分叫定子，转动部分叫转子。在定子的内圆上有槽，槽内装有三相绕组，用来产生感应电流。转子由硅钢片和导线制成。发电机转子有隐极式（圆柱形转子）和凸极式两种，如图1-4所示。

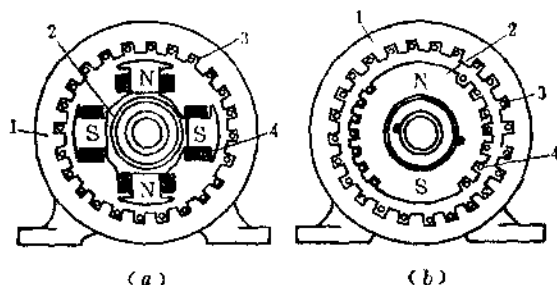


图 1-4 凸极和隐极发电机示意图

(a) 凸极式发电机；(b) 隐极式发电机

1—定子；2—转子；3—定子绕组；4—转子线圈

发电机的转子是用靠背轮或齿轮减速装置与汽轮机轴连接在一起的。在发电机轴的另一端带着一台小直流发电机，叫励磁机。励磁机发出来的直流电，经滑环、炭刷送至发电机的转子线圈中，转子带上直流电后，便成了电磁铁，这时转子周围就有了磁场，当汽轮机带动发电机转子旋转时，磁场也就跟着旋转，定子槽内的导线就会切割磁力线产生感应电流，这就是发电机使机械能转变为电能的基本过程。

2. 电气设备

1) 开关 开关是用来断开或接通电路的设备，开关的种类很多，如闸刀开关、自动空气开关、隔离开关及油开关（或称油断路器）等。

2) 母线 母线是铜制或铝制矩形截面的金属导体，它能够汇集发电机所产生的电能，以便将电能分配给各送电线路。

3) 变压器 变压器是远距离送电必不可少的设备。它能把低电压升成高电压以便输送电能，或把高电压降成低电压供给用户。前者叫升压变压器，后者叫降压变压器。

4) 熔断器 熔断器是一种保护电器，其主要部分是一根熔丝。当发生短路故障时，熔丝就受热熔断，使用电设备与电源断开，保护设备与线路。

5) 绝缘子（俗称瓷瓶） 绝缘子用在电杆上或室内以支持导线，它具有一定的机械强度和绝缘能力。

6) 电缆 电缆常用作地下的输电线，它由三个主要部分组成，即电缆芯、绝缘层和包皮。

发电机产生的电能先由铝制金属母线或电缆引到配电装置的汇流母线上，再根据用户

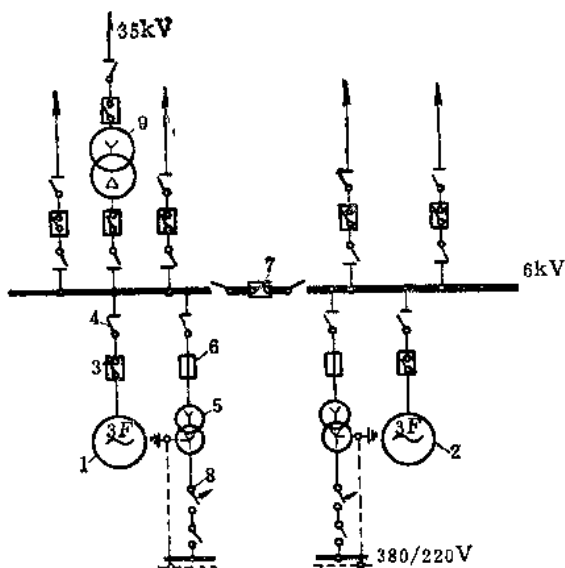


图 1-5 发电厂的电气结线图

1、2—发电机；3—油开关；4—隔离开关；5—厂用变压器；6—熔断器；7—母线分段油开关；8—空气开关；9—升压变压器

有一小部分留给发电厂自己用，这部分自用的电叫“厂用电”。小型发电厂厂用电一般约占全部发电量的3%~6%，它用于发电厂内的循环水泵、给水泵、凝结水泵、引风机、送风机等厂用电动机，并供给厂用照明。

在小型火力发电厂中，厂用电的电源都是接在发电机的母线上，经厂用变压器降低电压后向厂用负荷供电。

分布情况由配电装置分成几路送往城镇和农村各地，供给用户的动力和照明用电。

发电厂里把表示电气设备元件与其相互间连接顺序的图，称为电气结线图（也叫主结线图或主电路图），如图1-5所示。在电气结线图上通常用单线代表三相的三线。发电厂的电气设备，在结线图上是用统一规定的符号表示的，从主结线上可以看出发电厂的机组台数、各种主要电气设备的数量及其相互间的连接关系。

3. 厂用电

从图1-5的电气结线图上可以看出，发电厂发出的电，大部分要送给用户供给动力与照明用电。但是，还

第二节 小型火力发电厂的参数、容量和分类

一、火力发电厂的蒸汽参数和容量

火力发电厂的蒸汽参数是指蒸汽的初压力（汽压）和初温度（汽温）。在工程单位制中，蒸汽压力的单位是公斤力/厘米² (kgf/cm²)，汽温的单位是摄氏度（℃）。在法定计量单位中，压力的单位是帕(Pa)、千帕(kPa)、兆帕(MPa)。表1-1列出了压力的工程单位与法定单位的换算关系。

发电厂容量的单位是千瓦(kW)。一般蒸汽参数较低的电厂容量较小，蒸汽参数较高的电厂容量也较大。小型凝汽式火力发电厂的蒸汽参数一般都较低，即单机容量在3000kW以下的机组多采用低压低温的蒸汽，6000kW或12000kW机组采用中温中压的蒸汽，小型电厂总装机容量通常在10MW以下。对于供热式发电厂采用背压式或抽汽式汽轮机时，其参数与容量的配合关系可高一级，例如：1500kW和3000kW的供热机组，由于汽耗量比同容量凝汽式为大，就采用了中温中压参数。我国小型火力发电厂中通常采用的蒸汽参数及配合的机组容量示于表1-2中。

表 1-1

压力的工程单位与法定单位换算关系

法 定 单 位	工 程 单 位	换 算 关 系
帕(Pa), 千帕(kPa), 兆帕(MPa)	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²) 毫米水银柱(mmHg) 毫米水柱(mmH ₂ O)	1公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²) = 98066.5帕(Pa) = 98.0665千帕(kPa) = 0.0980665兆帕(MPa) 1毫米水银柱 = 133.3224帕(Pa) 1毫米水柱 = 9.80665帕(Pa)

表 1-2

我国小型火力发电厂常用汽轮机的参数和容量

机 组 型 式	单 位 容 量 (kW)	初 压 力 (MPa)	初 温 度 (°C)	排 汽 压 力 (MPa)	抽 汽 压 力 (MPa)	总 进 汽 量 (kg/h)	抽 汽 量 (kg/h)
N0.75-13	750	1.3	340	0.008		4.5	
N1.5-13	1500	1.3	340	0.008		8.8	
N1.5-24	1500	2.4	390	0.008		8.4	
N3-24	3000	2.4	390	0.008		16.1	
B1.5-24/3	1500	2.4	390	0.2~0.2		18.07	
B3-35/5	3000	3.5	435	0.4~0.7		32.1	
B6-35/10	6000	3.5	435	0.8~1.3		86.9	
C1.5-24/5	1500	2.4	390	0.0073	0.4~0.7	16.4	12
C3-24/10	3000	2.4	390	0.0073	0.8~1.3	34.5	20
C6-35/5	6000	3.5	435	0.0073	0.4~0.7	57.6	45
C12-35/1.2	12000	3.5	435	0.0073	0.12	74.5	40
N6-35	6000	3.5	435	0.0073		28.5	

注 N—凝汽式；B—背压式；C—调整抽汽式。

二、火力发电厂的分类

火力发电厂的分类方法很多，本书仅介绍几种常用的分类方法。

1. 按照生产的能量和产品的性质分

- 1) 凝汽式发电厂——只生产电能供给外界用户。
- 2) 供热式发电厂——既发电又供热的发电厂。它不仅可以供给用户电能，还可以用做过一部分功的汽轮机抽汽或排汽供给用户热能。

2. 按电厂的服务规模分

- 1) 区域性发电厂(联网发电厂)——由许多电厂联结成一个区域性的电力系统(简称电网)，发电厂发出的电力，不是直接送往用户，而是先送入电网，然后再由电网分送到各用户。

- 2) 孤立发电厂——与电网无联系，生产出的电能直接供给附近用户。这种发电厂多建设在用户附近。

- 3) 自备电厂——专门供给个别工业企业、矿山、森林等所需要的电能和热能。

3. 按电厂使用的燃料分

- 1) 燃煤发电厂——以煤为燃料。根据我国的能源政策, 应优先采用劣质煤来发电。
- 2) 燃油发电厂——以燃油为燃料。除国家批准的燃油发电厂外, 应严格控制发电厂内使用燃油。
- 3) 燃气发电厂——在产天然气地区可充分燃用天然气进行发电。当企业有副产品煤气时, 也可以煤气为燃料来发电。
- 4) 工业废热发电厂(余热发电)——利用工业企业排放的废热或其它废料(可燃物)为余热锅炉热能进行发电。
- 5) 原子能发电厂(核电站)——利用原子核反应堆裂变时产生的大量的热能来发电。
- 6) 地热发电厂——在有地热资源的地区, 利用地热进行发电。

4. 按原动机的型式分

1) 蒸汽机(包括锅驼机)发电厂——蒸汽机是利用蒸汽在汽缸内膨胀, 推动活塞和曲轴使飞轮施转的原动机。锅驼机是把蒸汽机和锅炉放在一起的一个成套设备, 其优点是构造、运行和维护简单, 布置上无须专门分开锅炉房和蒸汽机房, 因而厂房占地面积小。

2) 汽轮机发电厂——汽轮机是现代发电厂中采用最多的原动机。它的主要优点是结构紧凑, 转速高且均匀, 与蒸汽机相比热效率高。

3) 内燃机发电厂——用内燃机带动发电机发电, 因使用的燃料不同内燃机可分为柴油机和煤气机两种。

柴油机具有设备轻便、热效率高、启动快等优点, 但由于燃料价格较贵, 故仅用于多油缺水的地区或作紧急备用。

煤气机可以应用价廉的固体燃料, 但必须装置煤气发生炉。

4) 燃气轮机发电厂——用燃气轮机带动发电机发电, 燃气轮发电机一般用于承担电网尖峰负荷或作为紧急备用机组。

第三节 余 热 发 电

“余热”也称“废热”, 是工业生产中潜力最大、分布面最广的一种二次能源。利用余热进行发电, 具有节省燃料、节省运输、减少大气污染等优点。

工业余热能源的种类很多, 用于发电的主要有以下两种形式。

一、高温烟气余热发电

这种余热数量最大, 分布最广, 约占余热资源量的一半左右。例如: 冶金、化工、建材、玻璃、搪瓷等行业中, 各种窑炉排出的高温烟气余热量就相当于窑炉中燃料消耗量的30%~40%以上。最近几年来我国已在冶金、水泥、化工等行业广泛开展了余热发电工作。

全国大中型水泥厂中已部分利用余热发电的装机容量达89MW, 做到了部分电力自给。

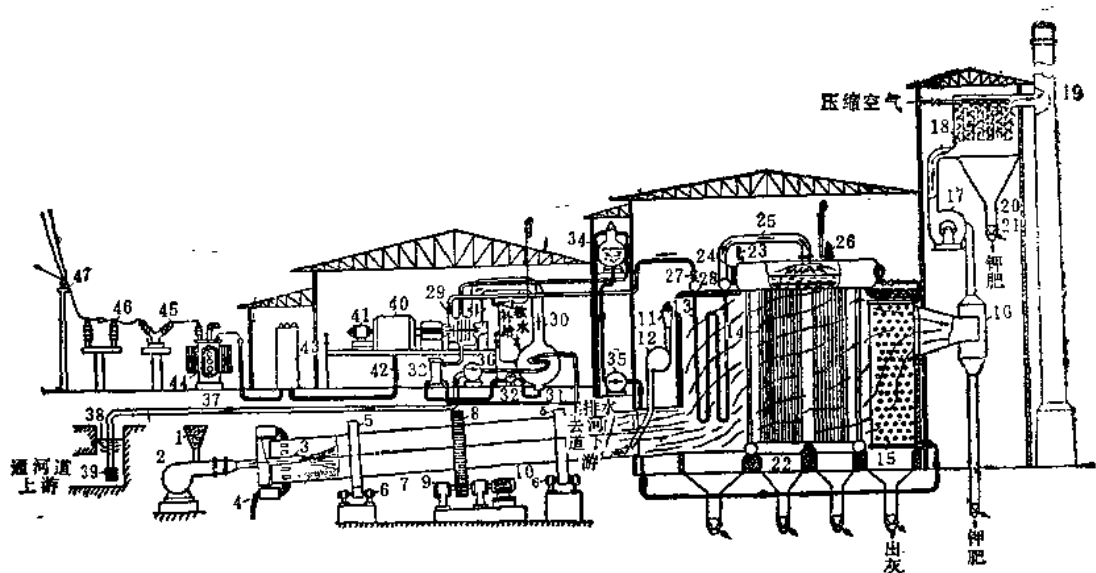


图 1-6 水泥厂余热发电工艺流程示意图

1—煤粉斗；2—排粉风机；3—煤粉喷嘴；4—冷却水泥熟料；5—旋窑支承环；6—轴承座；7—旋窑；8—旋窑被动齿轮；9—主动轮轴承座；10—电动机；11—水泥生料斗；12—加料机；13—过热器管；14—锅炉水冷壁；15—省煤器；16—旋风式除尘器；17—引风机；18—布袋式除尘器；19—烟囱；20—钾肥出料管；21—锁气器；22—下联箱；23—汽压表；24—水位表；25—饱和蒸汽管；26—安全阀；27—主汽阀；28—过热器联箱；29—汽轮机；30—凝汽器；31—热水井；32—凝结水泵；33—加热器；34—除氧器；35—给水泵；36—循环水泵；37—进水管；38—吸水井；39—吸水滤网；40—发电机；41—励磁机；42—发电机出电缆；43—发电机控制盘；44—主变压器；45—高压油断路器；46—高压隔离开关；47—出线构架

图1-6所示为某水泥厂余热发电的工艺流程图。

水泥厂的余热发电是利用旋窑尾部有900℃左右的高温烟气，在窑尾排烟出口安装了一台蒸发量为6.75t/h、汽压为1.4MPa、汽温为300℃的余热锅炉，将产生的蒸汽供给N1.5-13型凝汽式汽轮机带动发电机发电。

在余热锅炉的排烟道中安装有一级旋风除尘器，通过锅炉引风机将排烟再经过二级布袋除尘器进一步净化烟气中的粉尘，净化后的烟气由烟囱排至大气。

水泥厂余热发电机组在单机运行时，机组的实际出力要受到用电负荷的变化和水泥旋窑负荷变化两方面的影响；并列运行时仅受窑炉负荷变化的影响（机组并列运行时，用电负荷的变化可由电网来平衡）。

二、蒸汽的余压发电

工厂供热蒸汽的多余压力，属于部分蒸汽的压力势能。这部分势能如不加以利用，就会在供热过程中被白白地损失掉。目前有不少工厂锅炉的蒸汽压力分别为1.3、2.5、3.9MPa，而实际供热和生产工艺上需要的蒸汽压力仅为0.2~0.8MPa，其损失（节流损失）掉的多余压力就叫做余压。

蒸汽的余压发电，就是将锅炉生产出来的较高压力和温度的蒸汽先送入背压式汽轮机内做功，带动发电机发电，然后再将它的排汽作为供给生产工艺上需要的低压低温蒸汽进行供热。这种前置发电方式，是要多消耗一些燃料的，但是由于一汽两用，由发电而增加

的煤耗较一般火力发电厂的煤耗小得多，因此，利用余压发电经济上还是合算的。余压发电热力系统如图1-7所示。

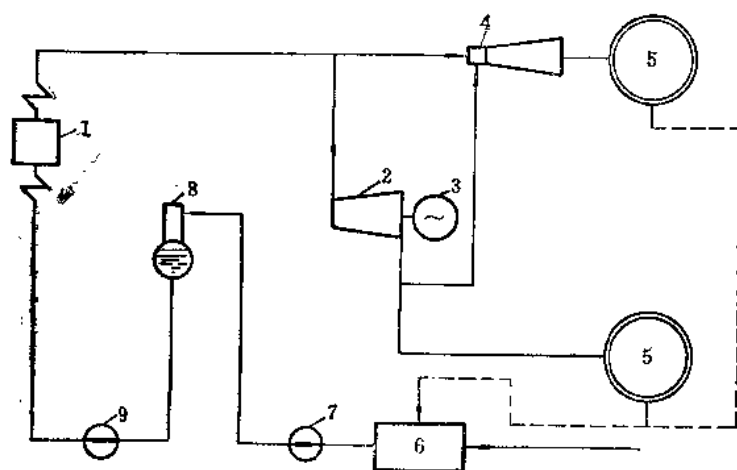


图 1-7 余压发电热力系统

1—蒸汽锅炉；2—背压式汽轮机；3—汽轮发电机；4—备用减压减温器；5—热用户；6—回水箱；7—凝结水泵；8—除氧器；9—给水泵

此外，还有将可燃气（如高炉煤气、焦炉煤气等）送入燃气轮机燃烧直接发电，或送入燃气锅炉燃烧产生蒸汽进行发电，也有的利用工业余汽、余压和余热回收等进行发电。

第四节 地 热 发 电

地球内部蕴藏有大量的热能，如果把地球上所有贮存的煤燃烧时放出的热量作为一百计算，则地下热能总量约为煤的一亿七千万倍。可见，地球是一个巨大的热库。如果我们能够善于开发和利用这种地球热，将会节约大量的有机燃料。

地热电厂就是直接利用地下蒸汽或热水来发电。目前，全世界地热电厂的总容量已达一百多万千瓦，这些地热电站几乎全部利用地下蒸汽来发电。目前利用地下热水来发电的电厂，一般容量较小，而且多是试验性的。我国从1970年开始先后在全国各地建设了一批小型的试验性的地下热水发电厂。

我国地热资源十分丰富，已经知道天然出露的地热温泉达二千多处以上，温度大多在 50°C 以上，超过 90°C 的也很多，最高达 140°C 。

地热发电使用地下蒸汽或地下热水代替燃料，不用锅炉设备，完全和通常的火力发电厂一样，只需要用汽轮机带动发电机发电。由于没有燃料的运输及锅炉设备，这样，可以大大地简化生产过程，也避免了排出大量的灰尘和烟气对环境造成污染。

利用地下热水发电，目前采用的方法有减压“扩容法”和运用低沸点物质的“中间介质法”。

一、扩容法地下热水发电

扩容法是用造成真空的办法，使一部分热水直接汽化来推动汽轮机从而带动发电机发电，其系统如图1-8所示。整个系统由扩容器、抽气器、汽轮机、凝汽器、水泵等设备及管道所组成。

由于地下热水温度在 100°C 以下时,进入扩容器汽化时的压力应低于大气压,则在热水没有送入扩容器前就应该启动抽气器,造成扩容器及整个系统的真空状态。抽气器一般采用射水式抽气器,也有采用真空泵的。

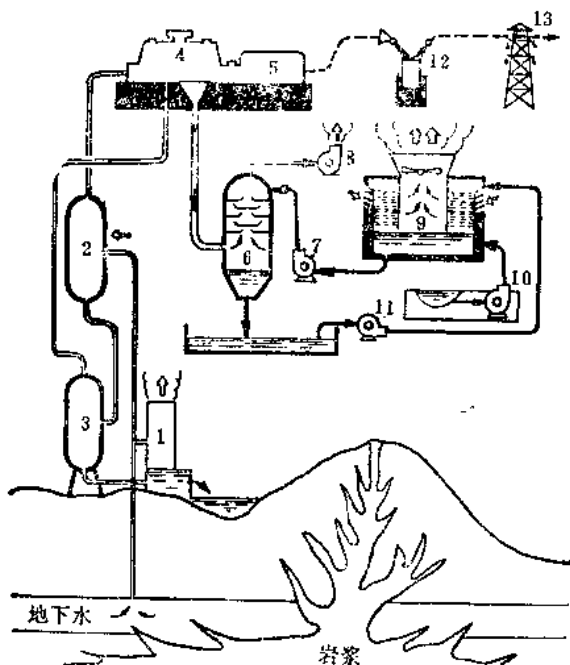


图 1-8 扩容法地下热水发电系统

1—消音器, 2—一次扩容器, 3—二次扩容器, 4—汽轮机, 5—发电机, 6—冷凝器, 7—冷却水泵,
8—抽气器, 9—冷却水塔, 10—地下冷水泵, 11—暖水泵, 12—油开关, 13—铁塔

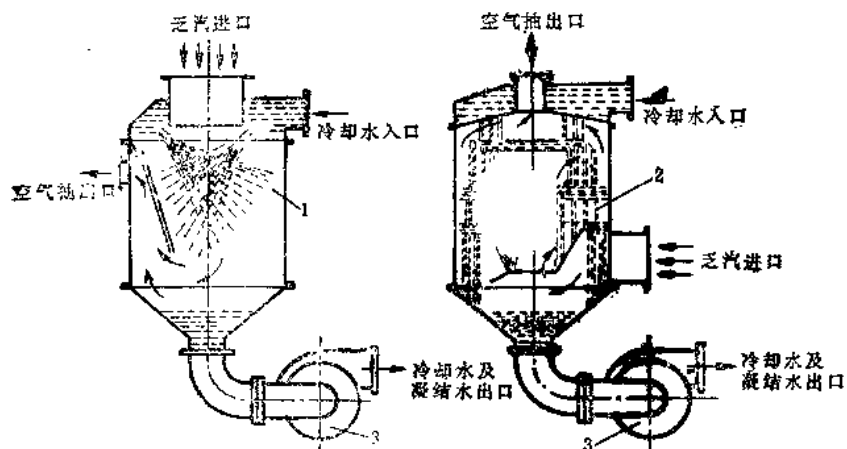


图 1-9 混合式凝汽器简图

1—顺流式凝汽器；2—逆流式凝汽器；3—凝结水泵

扩容器的压力是根据热水的温度来决定的。例如当热水温度为93℃时，则可以让扩容器的压力保持0.029MPa，对应的饱和温度为68℃。扩容器中汽化后的热水，可用扩容器排水泵打出，亦可采用将扩容器高位布置，利用扩容器内的水柱高度达到自流的办法来排除

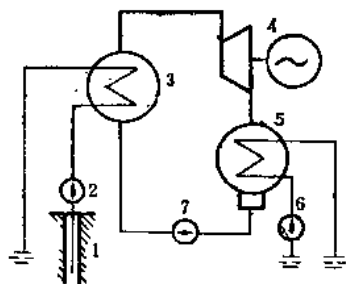


图 1-10 中间介质法地下热水发电系统
1—热水井；2—热水泵；3—蒸汽发生器；4—汽轮机发电机；5—凝汽器；6—冷却水泵；7—工质泵

热水。

凝汽器中的凝结水不象火力发电厂那样需要重复使用，而是由凝结水泵向外排出，因此在扩容法中凝汽器多采用混合式凝汽器，如图 1-9 所示。这样可以提高冷却效率和减少金属消耗。

二、中间介质法地下热水发电

中间介质法是用地下热水直接加热某些“低沸点工质”以获得推动汽轮机所需要的低沸点工质蒸汽的发电方法。

运用低沸点工质进行地下热水发电系统，如图1-10所示。在系统中采用了蒸汽发生器，在蒸汽发生器中利用地下热水来加热中间介质，并使其变为蒸汽，从而进入汽轮机中作功。

第五节 热电联产的发电厂

发电厂在生产电能的同时生产热能，可以使发电厂热能的利用得到提高，减少在凝汽器中所损失的热量。这种既生产电能又生产热能的能量生产过程称联合能量生产，这样的发电厂称为热电联产的发电厂，简称热电厂。

热电厂一般有两种运行方式：一种是背压式，另一种是可调节抽汽式。

一、背压式

当热电厂采用背压式汽轮机时，汽轮机排出来的乏汽全部供给热用户，这时汽轮机的排汽压力必须大于0.1MPa，为使乏汽温度在100℃以上，背压式汽轮机排汽压力的设计值一般在0.12MPa以上。图1-11所示为采用背压式汽轮机组热电联产原理图。

由于汽轮机背压的提高，使汽轮机输出功率有所下降，热能转变为电能的部分减少了，但是乏汽的热能全部供给了热用户，所以总的来看热能的利用系数K提高了。

$$K = \frac{\text{转化为电能的热量} + \text{供给热用户的热量}}{\text{工质从热源吸收的热量}}$$

热能利用系数是衡量热电厂经济效益的一项指标。热电联产的经济效益必须同时考虑热效率和热能利用系数，背压式汽轮机组的热能利用系数可达65%~70%。

采用背压式汽轮机最主要的优点是热能利用系数较高投资费用低，它的主要缺点是不能单独按用户需要来调节电负荷或热负荷，因为供电和供热互相有牵制。当热负荷增加时，发电量也随着增加，当热负荷减少时，发电量也随着减少。而增加发电量时，热负荷也随着增加，减少发电量时，热负荷也随着减少。

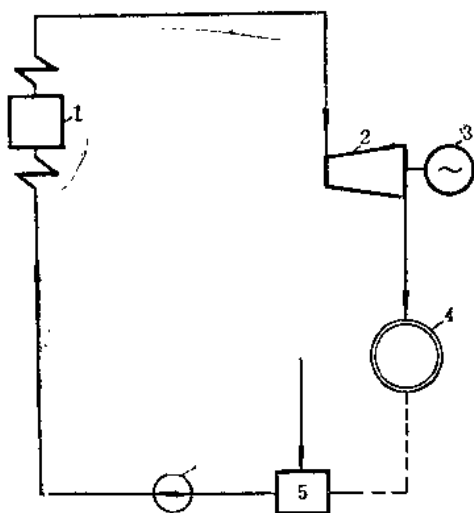


图 1-11 采用背压式汽轮机组热电联产原理图

1—锅炉；2—背压式汽轮机；3—发电机；
4—热用户；5—回水箱；6—给水泵

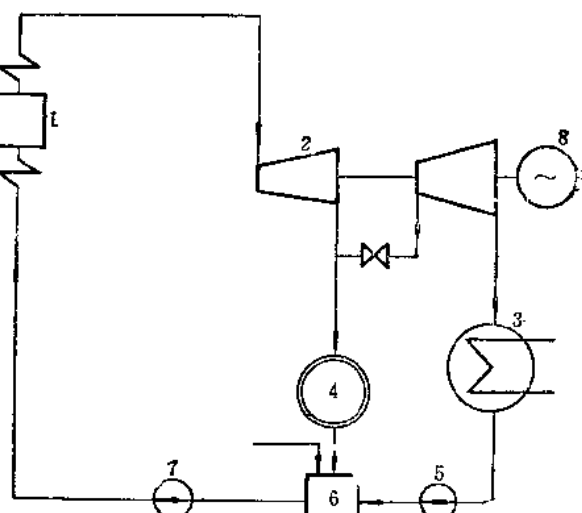


图 1-12 采用调节抽汽式汽轮机组的热电联产原理图

1—锅炉；2—供热式汽轮机；3—凝汽器；4—热用户；
5—凝结水泵；6—回水箱；7—给水泵；8—发电机

二、采用调节抽汽式汽轮机组的热电联产运行方式

为了克服背压式汽轮机供电供热不能单独调节的缺点，可采用调节抽汽式汽轮机进行热电联产。如图1-12所示，高参数工质经汽轮机高压缸做功后分成两部分，一部分供给热用户，另一部分通过调速汽门进入汽轮机低压缸继续做功，排出的乏汽进入凝汽器。当热负荷增加时，需要增加汽轮机的新蒸汽量以满足热负荷的需要。这会引引起汽轮机高压缸出力的增加，此时可同时调节调速汽门的开度减少进入汽轮机低压缸的蒸汽量，使低压缸的出力减少，这样可以保持总发电量一定。

由于抽汽式汽轮机可以调节供热量和发电量，能同时满足热负荷和电负荷的不同需要，所以在热电厂中得到广泛应用。但是在这种供热系统中，有一部分蒸汽进入了凝汽器，故它的热能利用系数较背压式汽轮机低。

第六节 火力发电厂的效率和经济指标

一、火力发电厂的效率

在发电厂的工作过程中，任何情况下都不可能把燃料燃烧所得到的全部热量转换为电能，其中一部分必然要在电厂工作过程中损失掉。

工作过程中的能量损失在燃料燃烧时就已经存在了，随后在其它的各个能量转换阶段，在电厂各部分设备中，都有数量不等、产生原因也不不同的各项损失，这些损失的数量可以从电力生产各个环节的有关效率中反映出来。