

高等学校教材

热 力 发 电 厂

重庆大学 郑体宽 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书从电厂的安全经济运行角度,着重阐明现代大中型火力发电厂热力过程的基本原理、热力计算及运行的基本知识。主要内容包
括:发电厂的安全性和经济性;发电厂的给水回热系统、除氧系统和
辅助热力系统;热电厂及其热力系统的经济性;发电厂的原则性热力
系统、全面性热力系统;汽水管道和热力设备的经济运行。

本书可作为高等学校“电厂热动力”专业“热力发电厂”课的
教材,也可供有关专业技术人员自学或参考。

高等学校教材

热力发电厂

重庆大学 郑体宽主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

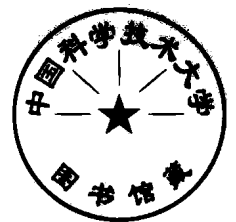
*

787×1092毫米 16开本 16印张 361千字 2插页

1986年6月第一版 1986年6月北京第一次印刷

印数00001—10430册 定价2.70元

书号 15143·5962



前 言

本书是根据水利电力部1982年9月在武汉召开的全国高等院校热能动力类专业教材编审委员会热力发电厂教材编审组制订的教学大纲,以及1983年1月在青岛召开的热力发电厂教材编审小组会审议的教材编写大纲编写的。

全书共分九章。主要介绍:发电厂的安全性和经济性,给水回热和除氧以及发电厂的辅助热力系统,热电厂及其热力系统的经济性,发电厂的原则性热力系统和全面性热力系统,发电厂的汽水管道以及发电厂热力设备的经济运行。

本书着重阐明大、中型火力发电厂实际热力过程的基本原理,侧重分析其热经济性,论述发电厂热力设备及其系统的技术经济分析、计算和运行的基本知识。并结合教学实践,新拟定了内容体系和章节安排,提高了教材的起点。注意到与有关课程的合理分工,给学生留有适当的思考余地,以培养学生智能。定性分析以熵方法为主,定量计算以常规的热力计算为主,并简要介绍一些新的计算方法。取材以国内设备和经验为主,适当地引用国外资料。

全书由重庆大学郑体宽主编,并分工编写绪论、第一、二、六、七章;常国蓉编写第三、四、五、八、九章。由南京工学院汪孟乐主审。在编写过程中,承各兄弟院校、科研、设计和生产单位大力协助,提供了许多资料和宝贵建议,仅在此一并表示谢意。

限于编者水平,书中不妥或错误之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

编 者

1985年10月

主 要 符 号

<i>A</i>	复杂循环的动力系数; 面积, cm^2 、 m^2		
<i>B</i>	燃料量, kg/h 、 t/h 、 kg/a 、 t/a	<i>S</i>	熵, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; 年运行费用, 元
<i>b</i>	燃料消耗率, $\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$; 气体在水中的溶解量, mg/L	<i>s</i>	比熵, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
<i>c</i>	比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; 管子壁厚附加值, mm	<i>T</i>	热力学温度, K ; 时间, s 、 h 、 a
<i>D</i>	汽水流量, kg/s 、 kg/h 、 t/h 、 t/a	<i>t</i>	摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$; 追加投资回收期
<i>d</i>	汽耗率, $\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$; 管道直径, mm 、 cm	<i>U</i>	变形能, $\text{kg}\cdot\text{m}$; 管道两端间直线距离, m ; 投资与年运行费用的总额, 元
<i>E</i>	焓, kJ/kg ; 管子的弹性模数, kg/cm^2	<i>V</i>	容积, m^3
<i>e</i>	比焓, kJ/kg	<i>v</i>	比容, m^3/kg
<i>f</i>	负荷系数, %	<i>W</i>	功率, W 、 kW 、 MW ; 发电量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; 流速, m/s
<i>G</i>	水的重量流量, kg/h 、 t/h ; 燃料产汽率, kg/kg	<i>w</i>	比功, kJ/kg
<i>g</i>	重力加速度, m/s^2 ; 加热单元的系数	<i>X</i>	经济效益
<i>H</i>	总焓降, kJ/kg ; 压头, Pa	<i>x</i>	建筑物采暖特性, $\text{kJ}/(\text{m}^3\cdot\text{h}\cdot\text{K})$; 汽轮机空载系数
<i>h</i>	比焓, kJ/kg ; 压降, Pa	<i>Y</i>	抽汽做功不足系数
Δh	局部焓降, kJ/kg	<i>Z</i>	给水回热加热级数
<i>I</i>	管子断面的惯性矩, cm^4	α	对流换热系数, $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K})$; 线膨胀系数, $\text{cm}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$; 抽汽系数; 热化系数
<i>J</i>	转动惯性, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$	β	回热抽汽增大的汽耗系数; 排污率; 给水焓升比
<i>K</i>	换热系数, $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K})$; 投资费, 元	γ	冷紧比
<i>L</i>	管道展开总长度, m ; 功量(以热量计), kJ/kg	Δ	管道总热伸长, cm
<i>M</i>	持续外载力矩, $\text{N}\cdot\text{m}$	δ	厚度, mm
<i>m</i>	质量, kg	ε	厂用电率; 管子相对伸长
<i>N</i>	功率, kW ; 热胀作用推力(或力矩), N 或 $\text{N}\cdot\text{m}$	η	效率, %; 基本许用应力修正系数
<i>n</i>	通风换气次数	θ	上端差(加热蒸汽的饱和温度与其出口水温之差), $^{\circ}\text{C}$
<i>P</i>	力, N ; 压力, N/m^2 、 Pa	ϕ	下端差(离开疏水冷却器的水温与其进口水温之差), $^{\circ}\text{C}$
<i>p</i>	压力, N/m^2 、 Pa ; 设备可用率	λ	导热系数, $\text{kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{K})$; 摩擦系数
<i>Q</i>	燃料发热量, kJ/kg ; 热量(热负荷), kJ/h 、 GJ/h 、 GJ/a ; 容积流量, m^3/h	μ	功率系数
<i>q</i>	热耗率, $\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$; 蒸汽凝结放热量, kJ/kg ; 设备故障率	ξ	局部阻力系数
<i>R</i>	弯管的弯曲半径, m ; 年计算费用, 元	ξ_{h}	热网损失系数
<i>r</i>	疏水放热量, kJ/kg ; 能耗(汽耗、热耗、燃料消耗)微增率, $\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 、 $\text{kJ}/$	ξ_{T}	热值系数
		Π	功量损失
		ρ	密度, kg/m^3

σ	应力, N/mm ²	f	摩擦的
τ	给水焓升, kJ/kg; 时间, h	fw	给水的
φ	减压减温器未蒸发水量的份额; 返回水率	g	发电机的
x	热化发电比	h	加热器; 热耗的; 供热的; 采暖的
ω	供热循环电能生产率, kW·h/GJ	$h.b$	锅炉直接供汽量 (属热电分产)
上角标		hs	热网的
a	年的	$h.t$	汽轮机热化供热 (属热电合产)
c	纯凝汽工况的	i	内部; 进入
d	设计的	K	动压力
i	内部的	L	低位发热量
n	净的 (供电的)	l	泄漏的
o	外部的	le	外部工质损失的
R	朗肯循环的	lv	门杆漏汽的
r	回热循环的	M	最大的
rh	再热循环的	m	机械的
s	标准燃料的	ma	补充水
t	计算温度的	n	空载
下角标		no	公称
a	理想的; 基本许用应力的	o	外部; 流出; 初始
ap	厂用能量的	op	最佳
$ap.e$	厂用电的	p	管道; 定压; 并置; 峰载
$ap.s$	厂用汽的	r	额定; 相对;
av	平均的	rc	再循环
ax	轴端功率的	rh	再热循环
b	锅炉的; 基本的; 基载的; 弯曲应力的	ri	相对内部
bl	锅炉排污的	rsl	合成
c	卡诺循环的; 凝汽汽流的; 定压的	rt	热网回水温度
co	纯凝汽汽流的	ru	持久强度
cp	凝汽式发电厂的	s	饱和水; 蒸汽的
cs	补偿的	sg	汽封的
d	除氧的; 动力压头的	sp	过热蒸汽
$d.h$	下部热网的	su	热网送水温度
e	回热抽汽的	T	供热循环
ec	经济的	t	热的; 温度的
$e.c$	供热机组凝汽发电部分	te	试验的
ej	抽气器	th	节流, 理论
$e.h$	供热机组热化发电部分	$t.h$	上部热网的
el	电功率	to	总的
en	环境	tp	热电厂; 叠置
ex	翅; 展开长度	u	利用的; 单元的

v 定容的；滑压的
w 水的
y 屈服强度的

设备符号

AH 暖风器
B 锅炉
BC 排污冷却器
BD 排污扩容器
BH 基载热网加热器
BP 升压泵
C 凝汽器
CP 凝结水泵
D 除氧器
DC 外置式疏水冷却器
DE 除盐装置
DH 下部热网加热器
DP 疏水泵
E 蒸发器
EC 省煤器
ECD 除氧器余气冷却器
EJ 抽气器
ES 蒸发器二次蒸汽冷却器
FC 给水冷却器
FF 送风机
FP 给水泵

G 发电机
H 回热加热器
HD 高压除氧器
HDP 热网疏水泵
HHS 采暖热用户
HP 热网水泵
HS 热用户
IHS 工业用汽热用户
M 混合器
MD 补充水除氧器
PH 峰载热网加热器
RH 再热器
RP 回水中继水泵
RTP 减温减压器
SC 外置式蒸汽冷却器
SG 轴封冷却器
T 汽轮机
TB 凝汽器内加热管束
TD 驱动汽轮机
TH 上部热网加热器
TP 前置泵
WB 热水锅炉
WE 射水抽气器
WP 射水泵

目 录

前言

主要符号

绪论	1
第一章 发电厂的安全性和经济性	5
1-1 发电厂的安全性	5
1-2 发电厂的热经济性	8
1-3 凝汽式发电厂的热经济性指标	18
1-4 发电厂的技术经济比较	21
第二章 给水回热加热系统	26
2-1 汽轮发电机组的热力计算	26
2-2 给水回热和再热过程主要参数对热经济性的影响	50
2-3 回热加热器及其连接方式	64
2-4 回热加热器的全面性热力系统及其运行	78
第三章 给水除氧系统	81
3-1 热除氧原理	81
3-2 除氧器的类型、压力选择及自生沸腾	84
3-3 除氧器的原则性热力系统	86
3-4 实现除氧器滑压运行应采取的措施	89
3-5 除氧器的全面性热力系统及运行	93
第四章 发电厂的辅助热力系统	96
4-1 发电厂的汽水损失及其补充系统	96
4-2 工质回收和“废热”利用系统	101
4-3 加热燃料和空气的热力系统	104
第五章 热电厂及其热力系统的经济性	105
5-1 电、热负荷的特性与热电联合能量生产	105
5-2 热电厂的热经济指标	117
5-3 热电厂经济性分析	124
5-4 热电厂的供热系统	133
第六章 发电厂的原则性热力系统	145
6-1 发电厂原则性热力系统的拟定	145
6-2 发电厂原则性热力系统的举例	147
6-3 发电厂原则性热力系统的计算	162
6-4 发电厂原则性热力系统计算举例	164
第七章 发电厂的全面性热力系统	184

7-1	发电厂全面性热力系统的概念	184
7-2	主蒸汽管道系统	184
7-3	旁路系统	188
7-4	给水管道系统	195
7-5	发电厂的疏放水系统	203
7-6	发电厂全面性热力系统举例	204
第八章	发电厂的汽水管道	207
8-1	管子的选择和计算	207
8-2	管道的支吊架及阀门	212
8-3	管道的热应力及管道的强度校核	214
第九章	发电厂热力设备的经济运行	225
9-1	热力设备并列运行时负荷的经济分配	225
9-2	不稳定变工况下热力设备的运行	236
附录	常用物理量的单位换算表	245
主要参考文献		246

绪 论

一、电力工业在国民经济中的作用和地位

能源是发展国民经济的一个关键问题，电能是一种现代化的优质二次能源。党的十二大提出了到本世纪末力争全国工农业产值翻两番，人民生活达到小康水平的宏伟目标。能源是经济发展的战略重点之一。世界上，发电的能源在一次能源（水力、煤炭、石油、天然气、原子能等）消费中的比重不断提高，目前我国已达22%左右，工业发达国家则超过30%以上。预测到2000年，我国和全世界的一次能源总消费中转换为电能的比重将分别达到30%和50%。

电力工业是国民经济的先行工业，其发展速度必须高于国民经济的发展速度，即电力弹性系数应大于一。我国1953~1980年的电力弹性系数平均为1.73。

发电量、电能占总能源的比重以及电力工业的发展速度，已成为衡量一个国家现代化水平的重要标志。实现电气化是我国一项基本政策。

二、我国的电力工业成就及其技术发展动向简介

新中国成立以来，我国电力工业有了很大的发展。从1949~1985年，全国装机容量从1850MW增加到86290MW，增加了46倍，发电量从4310GW·h增加到407300GW·h，增加了94倍。发电量由世界上第25位上升到第5位。每年发电量的平均增长速度为13.8%，居世界首位。平均每人占有电量从1949年的8kW·h增加到38kW·h(1984年)。旧中国的发电设备完全依赖进口，现已能制造亚临界参数单机容量为300MW的成套火力发电设备，并出口援助第三世界国家。已建成一大批火电厂，改变了过去全国90%的电厂建于沿海地区的局面，布局发生了重大变化。全国各省都建立了不同规模的电网，超过 1×10^6 kW容量的电网已发展到13个，并形成东北、华北、华东、华中、西北、西南六个跨省区的大电网，第七个华南电网即将形成，其中四个电网容量已超过10000MW。几乎全国所有的县，90%的乡、77%的生产队近五亿农民用上了电，为繁荣农村经济，提高农民生活水平发挥了巨大作用，在国际上影响很大。电厂的运行水平也有很大提高。

但是，我国底子薄，幅员辽阔，人口众多，与工业发达国家相比，电力工业的差距还很大。发电量、用电量的人均水平，在世界各国中还处于很落后的地位。电力技术装备和各项技术经济指标与世界先进水平相比，一般约落后二十年。全国还有三亿农民没用上电。1984年全国缺电量已达到45000~50000GW·h，缺少装机容量12000~14000MW，有20%~30%的生产能力因缺电而不能充分发挥作用，因之减少产值数百亿元。电力工业仍然是国民经济中一个突出的薄弱环节。

“七五”期间计划新增装机容量30000MW（其中水电7690MW），到1990年底全国装机容量达124000MW（其中水电36000MW），争取发电量 55×10^4 GW·h，比1985年增

加 $15 \times 10^4 \text{GW} \cdot \text{h}$ 。“七五”期间平均年递增率为6.7%。到本世纪末，按电力弹性系数1.05预测需装机容量240000MW，发电量至少达到 $12 \times 10^5 \text{GW} \cdot \text{h}$ ，人均发电量为1MW·h左右。发电能源占一次能源总耗费量的比重可达30%以上，相当于目前世界上中等发达国家的水平。

电搞不上去，四化建设就没有希望。要把电力搞上去，一方面国家要加强对电力建设工作的领导，增加电力基本建设投资，加快电力建设步伐；另一方面要努力提高基本建设的经济效益，选择最优方案，缩短建设周期，降低造价，少花钱，多办事。即从开源和节流两方面努力，其核心是提高经济效益。

我国电力工业近期开发的战略方针为：以火电为主，逐渐把重点转移到水电上来，核电只作为一种补充，并因地制宜开发多种发电能源。

（一）尽可能多开发水电

我国已探明的水力资源理论蕴藏量为680GW，居世界第一位，主要集中在西南地区（占68%）和华中、西北地区，华北地区仅占1%。水力资源才开发利用4.5%。预测到本世纪末，水力发电占总发电量的21%；装机容量占电力总装机容量的32%左右。目前只能择优开发，重点集中在长江中上游、黄河上游和红水河三个流域河段上。即使在开发水电的“富矿”地区，由于气象、季节和库容等因素关系，仍须配置相当比例的火电厂承担中间负荷或调峰任务。

（二）大力发展火电

我国已探明的煤储量约642.5Gt，仅次于美国、苏联，居世界第三位；占全国储量约75%的煤集中在晋、内蒙、皖、黔、陕五省区，仅山西一省的储量就占全国的三分之一。此外，石煤资源120~150Gt，煤矸石资源的积存累计0.8Gt以上。开发利用的煤资源仅15%。煤是我国的主要能源，占全国能源总构成的71.8%，煤资源的75%是用于燃烧，其中电站锅炉耗煤0.12Gt，而铁路运输量的40%就是长途运煤，它是造成交通紧张的主要原因之一。

我国火力发电应立足于燃煤。为此：（1）要根据煤炭基地开发和交通运输统一规划，加速发展大型坑口、港口、路口电站；（2）采用大容量高效率机组，“七五”期间及以后的主力机组为300、600MW，电厂规模1200~2400MW，以取得单位造价小、煤耗低等经济效益，一台600MW机组较200MW机组年节约原煤可达 $5 \times 10^4 \text{t}$ ；（3）电力建设要选择最优方案，降低工程造价，缩短建设周期，以提高经济效益；（4）积极建设热电厂，提高热利用率，改善环境保护条件；（5）提高自动化水平，随着大机组大电网的发展，必须实现生产过程自动控制（包括采用计算机）和管理的自动化，目前望亭电厂的国产300MW机组已采用协调控制；（6）环境保护方面，到本世纪末力争全国环境污染基本得到解决，自然生态基本达到恢复良性循环的总要求，要开展“三废”（废渣、废气、废水）的综合治理，防止噪音污染。

（三）适当发展核电

我国工业发达地区在东部，沿海15个省市的工业产值为全国的73%，而能源资源只有全国的10%，供需矛盾十分尖锐，在这些地区应积极发展核电。

核电在技术上是成熟的，生产是安全的，核电成本一般比火电低，各国都在积极发

展。我国有核资源,已建有较完整的核工业体系,也有核电的需要,虽起步较晚,但要迎头赶上。目前正在广东、浙江兴建压水堆型核电站。预测到2000年,要建设十套核电机组,装机总容量10GW。

(四) 大力发展大电网

发展大电网的主要优点为:减少电网的备用容量,提高供电可靠性;可装大容量机组,降低造价,加快电力建设速度;可利用时差减少电网的尖峰负荷;可实行水电之间的经济调度和跨流域的水库调节。世界上已实现跨国电网。最大的电网是装机容量为206GW的苏联全国电网。我国现有六个跨省电网,要逐步向跨大区联网发展,到本世纪末将形成全国联合电网。随着电网的扩大,峰谷差相应加大。如华东电网的峰谷差现已超过2000MW,所以现在的大容量火电机组也将承担调峰任务。

(五) 开发多种发电能源

我国土地辽阔,太阳能、地热能、风能、海洋能、生物能等资源丰富,已先后建有地热、风力、潮汐、沼气、太阳能等电站。预计到2000年,这些新能源的开发利用可占我国能源总需要的4%。

解决农村用电最现实最有经济价值的能源是小水电,现已初步选定100多个农村电气化试点县,对推进中国式的农村电气化事业,具有战略意义。

我国能源供应紧张,而能源利用率又极低,仅25.6%,工业发达国家为40%。如到本世纪末,我国能源利用率提高到40%,相当于增产 4.5×10^8 t标准煤,足见节能潜力之巨大。我国的能源政策是“开发和节约并重,近期把节能放在优先地位”,节能是发展国民经济的一项长期的战略任务,“七五”期间争取节约标准煤0.1Gt。

近三年来全国节约能源 7×10^7 t标准煤,使得能源递增率只有7.3%的情况下,却保证了工业产值年递增7.3%,节能效果显著。但是,跑、冒、滴、漏的现象还较严重,设备、管阀保温差,“大马拉小车”的设备还比较多,有些设备陈旧,产品性能落后,用能“吃大锅饭”较严重,各地区、各行业之间的能源利用率也很不平衡,还要做艰苦而扎实的节能工作。

实现电网统一调度。据计算,仅火电厂间的经济调度,节约燃料1%,在全国相当于节约一个年产1.6Mt的煤矿全部产量。

目前全国有中低压凝汽式机组13000MW,与高参数机组相比,每年多耗13Mt标准煤。每改造1kW设备,约需投资800元,每年却可节省1t标准煤,扣除煤矿投资后,5~10a即可回收,效益是比较大的。

将电力工业从“生产型”企业转变为“生产经营型”企业,即从只追求完成国家计划的发电量、煤耗率、线损率、产值等指标,转到在国家计划指导下,以提高经济效益为中心的轨道上来,实现企业管理现代化,使所有电力企业到2000年至少要达到发达国家八、九十年代的企业管理水平。

须强调指出,加快电力工业发展的根本方针是充分调动全民办电的积极性,做到国家、企业、个人一起来,大、中、小型一起上;要打破几十年来形成的一家办电的传统做法,合理解决电网要求保证统一调度和各方面办电后要求保证经营与用电自主权的矛盾。“七

五”期间计划新装机30000MW，其中国家投资新装机25000MW，其余5000MW即为地方、部门的集资办电。

三、热力发电厂的类型及其要求

根据热力发电厂的能源利用等不同情况，热力发电厂可划分为不同的类别，如表0-1所示。

表 0-1 热 力 发 电 厂 的 分 类

分 类 方 法	发 电 厂 类 型				
能 源	化石燃料发电厂	原子能发电厂	地热发电厂	太阳能发电厂	磁流体发电厂
能量供应	供应电能的凝汽式发电厂	供应电能、热能的热电厂			
原动机类型	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	
电厂总容量(MW)	小容量发电厂 25以下	中容量发电厂 25~250	大容量发电厂 250以上		
蒸汽初参数(MPa)*	中、低压发电厂 3.43(35)以下	高压发电厂 8.83(90)	超高压发电厂 12.75(130)	亚临界发电厂 16.18(165)	超临界发电厂 22.06(225)以上
电厂位置	坑口、港口、路口电站	负荷中心电厂	位于煤源与负荷中心间电厂		
承担负荷	带基本负荷	带中间负荷	调 峰		
机炉组合	非单元机组	单元式机组			
服务规模	区域性发电厂	自备发电厂	列车电站	孤立发电厂	
主设备布置方式	室内布置	半露天布置	露天布置		

* 指进汽轮机的蒸汽压力，MPa；括号内数值为工程单位的值，ata。

对热力发电厂的基本要求是：力求安全可靠地生产，提高经济效益，便于施工，便于运行、检修和扩建，提高劳动生产率和自动化程度，搞好环境保护。

四、本课程的任务和作用

在已学工程热力学、汽轮机和锅炉原理等课程基础上，本课程以热力发电厂整体为研究对象，着重研究汽轮机发电厂的热功转换理论基础及其热力系统，在电力生产安全第一的前提下，分析其经济效益，并以热经济性的定性分析和定量计算为主。

“热力发电厂”是一门政策性强、综合性强、与电厂生产实际紧密相联的专业课程，学好本课程对今后从事电厂实际工作，特别是提高全厂的热能利用率有着极其重要的作用。

第一章 发电厂的安全性和经济性

1-1 发电厂的安全性

一、安全性管理

电能生产的特征为：电能是一种无形又不能储存的二次能源商品；发电、供电、配电不可分割；电力的生产、流通和消费（包括输送、分配、销售和使用）是同时完成的；电力企业的生产活动还与全体用户之间有相互依存的密切关系，为了安全可靠地发供电，电网应有必要的备用容量和发电能源储备；电力事故是瞬时发生的。这是电力生产的基本规律，是科学地组织电力企业生产经营管理的依据。

电力工业是技术与资金密集型的行业。一个1000MW电厂的综合造价为5~10亿元。我国是发展中国家，搞四化建设的主要困难之一是资金缺乏，因此要求建成的每一个电厂，一定要确保安全生产，以充分发挥设备的效益。

电力是能源的重要组成部分，对工农业生产、交通运输、人民的物质文化生活影响很大。建国以来，我国在电力生产中一直是贯彻“安全第一”的方针，颁布了一整套规章制度和各种安全规程，建立了相应的组织，加强技术管理，实行计划检修和技术监督，推行岗位责任制，开展安全竞赛和技术培训等，取得了较高的安全记录。这些电业管理中很重要的成功经验，在十年动乱期间，受到了严重破坏。现在，几经整顿，已基本恢复。今后，还要坚持这一整套管理制度，但是，有的已不适应大机组、大电厂、大电网的要求。因此，必须进一步开展下列各项工作：

1. 实行全面的安全管理

过去的安全工作着重于搞好运行和设备检修。实际上设备制造质量、规划与设计、厂址选择、电网结构等在很大程度上影响着安全运行。必须从规划到设计、设备制造、施工生产、运行与检修、直至培训等各方面，实行全面的安全管理。

2. 采用先进的设备和手段

以往小机组、小电网的安全工作，多从加强劳动强度着手。大容量中间再热机组的机、炉、电之间运行参数关系复杂，一般应具备自启停的条件，并且有四、五十种闭锁保护，出现异常能自动停机。大电网应采用自动频率控制与自动功率控制。

3. 保持大电网的稳定性

500kV以上超高压大电网的形成，千里以上的远距离输送，电网稳定性极为重要。一台大机组一旦出事故，影响很大，往往使电网失去稳定，同时出现电压崩溃，导致大面积停电，乃至全网解列。

4. 发电设备的现代化管理

目前，引进的法国600MW机组正在安装中，引进了美国600MW机组制造专利，五条

500kV输电线路正在建设（其中一条已投运）。现代化的发电设备需要现代化的管理，要从多方面制订可靠性准则，建立信息反馈系统，其核心仍是安全生产。水利电力部已采用计算机分析事故，可同时进行15个专题，135种分析，14种人身事故分析，在屏幕显示数字、画面，或宽行打印输出。朝阳发电厂200MW机组已实现微机监视运行，机组运行参数可随时在屏幕上显示出来，定时打印报表，并发出声光警报信号，机组故障时可打印故障前8 min、及故障后5 min的运行参数。

二、可靠性管理

国外可靠性技术，六十年代方用于民用和电力工业，各国陆续成立相应机构，制定电力工业可靠性准则或标准。电力工业可靠性理论，是用现代数学方法，对电力系统中出现的随机事件作系统的、科学的定量评价，即用数理统计方法研究由发电厂并联运行破坏所导致的电力系统和用户的可靠性（包括安全、质量）的影响。

电力工业可靠性管理的最终目的是，从规划、设计、施工、运行、检修和制造各个环节上，充分发挥供电设备潜力，向全部用户保证不间断供电质量，以充分发挥电力系统的经济效益。

我国从七十年代开始探索电力工业可靠性管理，并进行了一些试点。华东电管局在所属23台N125型火电机组推行可靠性管理，宣威发电厂对设备可用率进行分析评价。水利电力部现已决定用设备可用率做为发电厂考核指标之一，计划从1984年起，用五年左右的时间，在全国逐步推行电力工业可靠性管理，制订本部门的可靠性准则或导则，以全面建立可靠性信息反馈系统。

美国对有关可靠性术语作了标准化的统一解释，并制定了几十个性能指标，其中最主要的是设备可用率 p 和故障停运率 q 。

$$p = \frac{\text{每年可带负荷运行小时}}{8760} \times 100 = \frac{\text{实际运行时间} + \text{停运待命时间}}{8760} \times 100 \quad (1-1)$$

$$q = \frac{\text{故障停运时间}}{\text{故障停运时间} + \text{实际运行时间}} \times 100 = \frac{\text{计划停运时间} + \text{非计划停运时间}}{8760} \times 100 \quad (1-2)$$

可用时间即每年可带负荷运行小时数，包括实际运行时间，以及可以运行、但由于经济运行或调度命令而停机待命的时间。减少不可用的时间，即可提高设备可用率，挖掘设备潜力，增加发供电量。故障停运时间、计划检修时间和维修停运时间均应尽量缩短。

我国过去实行的计划检修为：每年大修一次、小修三次。国外却隔几年才大修一次，其可用率即大大提高。我国有些火电机组可用率达85%（每年有55d因故障和检修而停运），有的设备可用率仅70%（每年有110d停运），差别悬殊。一个1000MW火电厂，如设备可用率提高1%（多发3.65d的电），即可多发70GW·h电，仅电费收入一项即达560万元，可增加工业产值两亿元以上。可靠性管理的经济效益由此可窥知一、二。

发电设备可靠性预测，就是分析电源是否能满足最大电负荷的需要。过去是按照装机容量百分比来判断发电容量是否充足，目前许多国家和电网采用概率理论，根据设备强迫停运率和计划检修停运率来预测缺电时间概率。国外的一些电网规定，缺电时间概率

为每年几小时到一天不等，如美国为0.1d/a。

显然 $p+q=1$

若第一台机组（或单元）的设备可用率和故障率为 p_1 、 q_1 ，第二台机组（或单元）的为 p_2 、 q_2 ，则

$$(p_1+q_1)=1; (p_2+q_2)=1; (p_1+q_1)(p_2+q_2)=1$$

$$\text{即 } p_1p_2+q_1p_2+q_2p_1+q_1q_2=1 \quad (1-3)$$

式中 p_1p_2 ——两台机组都运行的概率；

q_1p_2 、 q_2p_1 ——一台机组运行、一台机组故障的概率；

q_1q_2 ——两台机组都发生故障的概率。

同理，若单元机组锅炉和汽机可用率、故障率分别为 p_b 、 p_t 、 q_b 、 q_t ，则

$$p_bp_t+p_tq_b+q_tp_b+q_bq_t=1 \quad (1-4)$$

单元的故障率 q_u 为

$$q_u=p_tq_b+q_tp_b+q_bq_t \quad (1-5)$$

若系统中两群相同型式机组，其数目为 n_1 、 n_2 ，其故障机组数分别为 m_1 、 m_2 ，则其故障概率为：

$$\frac{n_1!}{m_1!(n_1-m_1)!} q_1^{m_1} p_1^{(n_1-m_1)} \frac{n_2!}{m_2!(n_2-m_2)!} q_2^{m_2} p_2^{(n_2-m_2)}$$

用概率法分析可靠性，显然，统计的年限愈长，其概率愈接近实际。

三、寿命管理

发电设备及其管道，特别是汽轮机和主蒸汽管道，在使用期限历经冷、热交变循环，承受冷热交变应力，而最终导致疲劳破坏，寿命损耗殆尽。以汽轮机为例，在出现第一条裂纹前的总的工作时间，称为汽轮机的寿命。汽机每启停一次，或升降负荷一次所消耗寿命的百分数称为寿命损耗系数。金属温度变化幅度或金属温度变化率越小，其寿命损耗系数就越小。

所谓寿命管理是以该设备寿命为依据，合理选择寿命损耗率（如万分之一或十万分之一），以分配其寿命和允许的不同状态启停次数。

以引进日本的350MW再热式机组为例，设计寿命30a，其寿命分配如表1-1所示。极热态启动是指从最高负荷骤降到最低负荷，或从最高负荷停机后立即重新启动，是最恶劣的启动情况，30年内仅限于10次，其寿命损耗率严格控制在0.3%。该机组采用屏幕显示

表 1-1 日本350MW再热式机组30年内的寿命损耗分配

序 号	汽轮机启停情况	使用次数 (次)	寿命损耗 (%)	序 号	汽轮机启停情况	使用次数 (次)	寿命损耗 (%)
1	正常负荷变化	12000	30	5	冷态启动	100	10
2	正常停机	4000	8	6	强迫冷却停机	100	0.3
3	热态启动	3000	27.3	7	厂内单独运行	10	10
4	温态启动	1000	10	8	极热态启动	10	0.3

寿命损耗率，便于值班人员严密监视。

1-2 发电厂的热经济性

一、发电厂的热经济性的评价

热力发电厂都以某一热力循环为基础。现代的热力发电厂毫无例外地都采用回热循环，大型机组还多采用具有多级回热抽汽的再热循环。热力发电厂生产过程的实质是将燃料中的化学能，经热能的释放、传递、工质的迁移和热功转换等过程最终转变为电能。在这些能量转换过程中，总是有数量不等，原因不同的各项热损失，如锅炉损失、管道损失、冷源损失、汽轮机内部损失、机械损失、发电机损失等，使得燃料中的化学能只有一部分转变为电能。要提高发电厂的热经济性，就应研究实际电厂能量转换过程的各项热损失，研究这些损失的部位、大小、原因及其相互关系，以便提出减少这些热损失的方法和需采取的相应措施，并定量地算出提高热经济性的程度，再从技术经济方面权衡取舍。

定量计算发电厂热经济的方法有：效率法（又分为定功率法、定流量法两大类）、焓方法和焓方法。

（一）效率法

按照某一热力循环向动力装置、设备供给的能量，在实现能量转换的过程中，只能部分地转变为有效利用的能量，总有一定的能量损失。以同一度量单位计，通过该装置、设备的有效能量占供给能量的百分数，即所供给能量利用的有效程度在数量上的表示称为效率。以循环热效率、装置效率、设备效率来定量地表征其热功转换效果，这种方法称为效率法。它是以热力学第一定律为依据，其实质是能量的平衡。

兹以图1-1所示系统为例，分析实际电厂的各种效率（以1kg工质为基准计算之）。

1. 循环热效率 η_t

循环的理想功与其吸热量之比，称为循环热效率，即

$$\eta_t = \frac{h_a}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{\alpha_c q_{ca}}{q_1} \quad (1-6)$$

式中 q_1 ——循环吸热量， $q_1 = h_0 - \bar{t}_{fw} + \Delta q_{rh}$ ，kJ/kg；

q_{ca} ——理想循环时冷源损失， $q_{ca} = h_{ca} - \bar{t}_c$ ，kJ/kg。

2. 实际循环效率 η_i

实际循环效率（即汽轮机装置的绝对内效率）是以循环吸热量中能转变为有效利用的内功多寡来衡量，它有两种表达式：

一种与式（1-6）类似，即

$$\eta_i = \frac{h_i}{q_1} = 1 - \frac{\alpha_c q_c}{q_1} \quad (1-7)$$

或

$$\eta_i = \frac{h_i}{q_1} = \left(\frac{h_a}{q_1} \right) \left(\frac{h_i}{h_a} \right) = \eta_t \eta_{rt} \quad (1-7a)$$

式中 q_c ——实际循环的冷源损失， $q_c = h_c - \bar{t}_c$ ，kJ/kg。

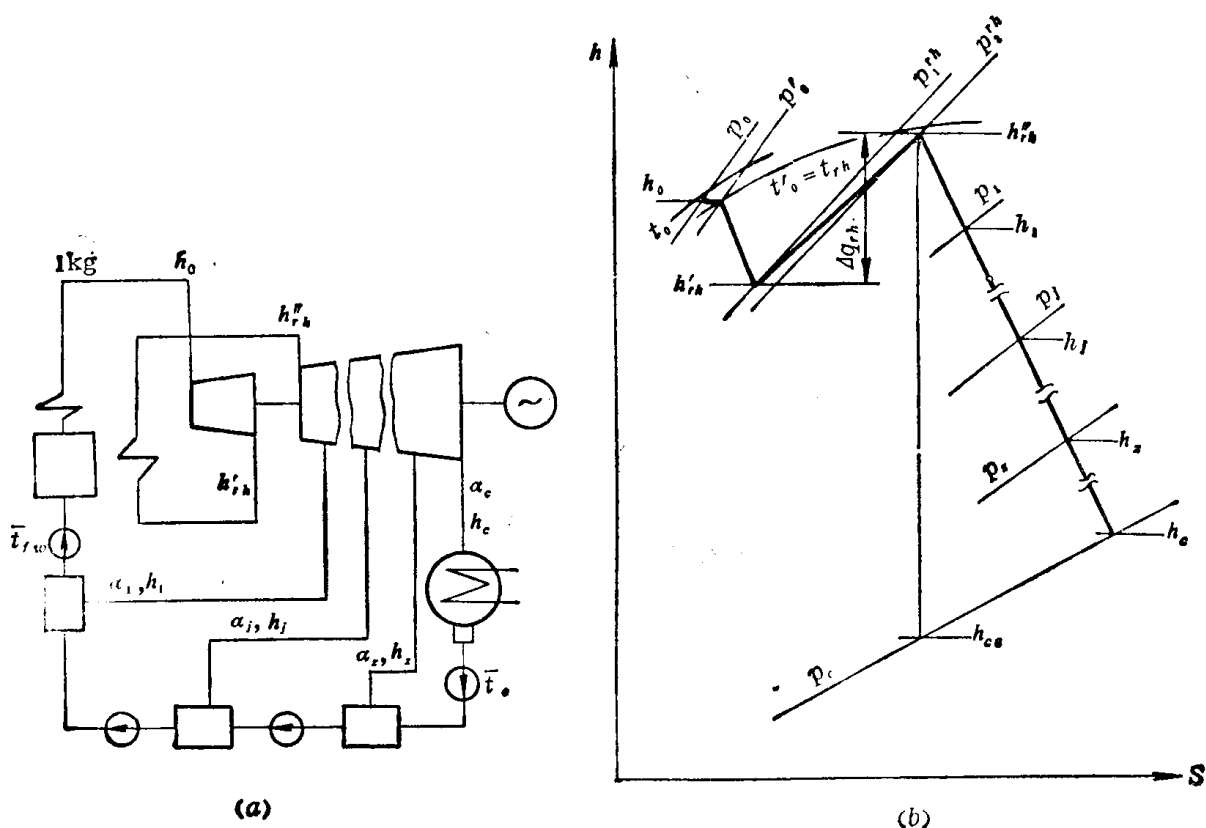


图 1-1 具有Z级回热的再热循环
(a) 热力系统图; (b) 焓熵图

式 (1-7) 及 (1-7a) 用以求回热参数的最佳值较为方便。

另一种 η_i 表达式, 是将进入汽轮机的蒸汽分为凝汽汽流 α_c 和各级回热抽汽汽流 $\Sigma\alpha_j$ 两部分, 当不考虑加热器的散热损失时, 以它们各自做的内功之和与其相应的热耗量之比来表征的。

$$\eta_i = \frac{h_i}{q_1} = \frac{\alpha_c h_i^c + \Sigma\alpha_j h_i^{r,h}}{h_0 - \bar{t}_{fw} + \Delta q_{r,h}} = \frac{\alpha_c h_i^c + \Sigma\alpha_j h_i^{r,h}}{\alpha_c q_1^c + \Sigma\alpha_j h_i^{r,h}} \quad (1-7b)$$

$$\alpha_c + \Sigma\alpha_j = 1 \quad (1-8)$$

上二式中 h_i^c ——凝汽汽流的实际焓降, $h_i^c = h_0 + h_c + \Delta q_{r,h}$, kJ/kg;

q_1^c ——凝汽汽流的热耗量, $q_1^c = h_0 - \bar{t}_c + \Delta q_{r,h}$, kJ/kg;

$\bar{t}_{fw}$ ——进入锅炉的给水焓, $\bar{t}_{fw} = \alpha_c \bar{t}_c + \Sigma\alpha_j h_j$, kJ/kg。

不难证明, 式 (1-7b) 的分母为:

$$\begin{aligned} q_1 &= h_0 - \bar{t}_{fw} + \Delta q_{r,h} \\ &= (\alpha_c + \Sigma\alpha_j) h_0 - (\alpha_c \bar{t}_c + \Sigma\alpha_j h_j) + (\alpha_c + \Sigma\alpha_j) \Delta q_{r,h} \\ &= \alpha_c q_1^c + \Sigma\alpha_j h_i^{r,h} \quad \text{kJ/kg} \end{aligned}$$

分析式 (1-7b): 若无再热蒸汽, $\Delta q_{r,h} = 0$, 即为回热循环的绝对内效率; 若又无回热抽汽, 即 $\Sigma\alpha_j = 0$, 该式即演变为朗肯循环的绝对内效率。