



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

RELI FADIANCHANG

热力发电厂

(第二版)

郑体宽 主编
杨晨 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Thermal Energy & Power



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

RELI FADIANCHANG

热力发电厂

(第二版)

主 编 郑体宽
副主编 杨 晨
编 写 苟小龙
主 审 武学素
石奇光



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书从电力工业的资源节约、环境友好和可持续发展的角度出发，着重介绍常规国产大型火电机组及一些有发展前景的其他热力发电机组的基本原理、热力计算。主要内容包括：热力发电厂的评价及可持续发展、热力发电厂的蒸汽参数及其循环、燃气—蒸汽联合循环、核能、地热及太阳能发电、给水回热系统、给水除氧和发电厂的辅助汽水系统、热电厂的对外供热系统、发电厂的原则性和全面性热力系统及热力发电厂的运行等。每章均附有复习思考题和习题。

本书可作为高等学校热能动力工程专业本科热力发电厂主干课的教材，也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

热力发电厂/郑体宽主编. —2版. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5083-7881-7

I. 热… II. 郑… III. 热电厂-高等学校-教材
IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 149269 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2001 年 3 月第一版

2008 年 12 月第二版 2008 年 12 月北京第十五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 575 千字 2 插页

定价 38.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

《普通高校“九五”国家级重点教材 热力发电厂》于2001年3月出版发行,至今已14次印刷。此次修订工作主要考虑以下的因素:

(1) 宏观性方针政策发生了变化,提出了能源发展“十一五”规划、科学发展观、资源节约型、环境友好型经济、循环经济、绿色经济,把节约能源放在更加突出的战略地位,提倡减排降耗等;出台了夏季空调不得低于 26°C ,冬天采暖不得高于 20°C 的微调性规定等。

(2) 火力发电工业向超临界、超超临界蒸汽参数,更大单机容量机组发展,并逐步关闭单机容量50MW及以下的机组,推广燃气—蒸汽联合循环发电,烟气脱硫和洁净煤发电技术,积极发展核电机组等。本书以600MW燃煤机组及其热力系统为主,回热系统热力计算及原则性热力系统计算举例均采用国产600MW机组数据。

(3) 2007年6月国务院公布了“节能降耗综合性方案”(“节降方案”);2007年6月5日(世界环境日),我国政府发布了“中国应对气候变化国家方案”(“气候方案”);2007年6月,还公布了“可再生能源中长期发展规划”(“规划”);2007年10月,全国人大通过了修订后的《节约能源法》。电力行业也制订了新的行业标准,如DL 5000—2000《火力发电厂设计技术规程》(《设规》),DL/T 606.3—2006《火力发电厂能量平衡导则 第3部分:热平衡》(《导则》)。管道热效率不再只考虑主蒸汽管的散热损失,而应全面考虑各种主管道(主给水、冷再热蒸汽、热再热蒸汽等管道)的散热损失,即是一例。

(4) 编四轮教材时采用的一些统计数据、信息等资料,多为20世纪八九十年代的。现已跨入21世纪,有关资料均应尽可能更新为近3~5年的。

(5) 在继承前四轮热力发电厂教材特点的基础上,本书对内容和章节安排作了适当调整或充实修订,力求完善。就火力发电工业而言,它的设计、制造部门对人才的要求是有限的,但每年要新投运机组容量均近20GW,需要大量的从事运行各方面的工程技术人才。鉴于此,本书新增热力发电厂的运行一章。

本书由重庆大学郑体宽主编,编写绪论并对全书统稿;重庆大学杨晨副主编,编写第一~六章,并协助主编的工作;重庆大学苟小龙参编,编写第七~九章。本书配有多媒体课件(请登录<http://jc.cepp.com.cn>)。全书由西安交通大学武学素、上海电力学院石奇光两位教授主审,并提出许多宝贵的建设性意见,在此深表谢意。全书的电脑录入、多媒体课件的制作,由硕士研究生孔德峰、李攀峰、周响球共同完成,在此表示感谢。

在编写修订版过程中,承各兄弟院校、锅炉制造部门、汽轮机制造部门、电力设计及大型火电厂等单位的大力支持,提供有关资料,编者仅向他们表示深切的谢意。

由于编者水平所限,本书不足之处在所难免,热诚欢迎读者批评指正,多提宝贵意见,以不断改进提高。

编 者

2008年12月

第一版前言

本书已列入原中国电力企业联合会普通高校热能动力类专业第四轮后三年（1998~2000年）教材规划。1997年1月9日，经原国家教委批准，将本书列为“九五”国家级重点教材。

根据原国家教委对“九五”国家级重点教材的要求和原普通高校热能动力类专业教学委员会审订的专业教学计划中关于热力发电厂课程的基本要求，拟定了本书的编写大纲。本书是经两位主审、出版社责任编辑的审查，按照修订后的编写大纲编写的。

1999年4月完成本书送审稿，请有关单位专家、教授审查，并于1999年5月在东南大学召开了审稿会，根据审稿意见进行了修改。

我们总结了1980、1986、1995年前三轮热力发电厂教材的编写实践经验，保留了教材起点高、注重理论基础的特点，进一步调整了课程体系。世纪之交的教育更要面向现代化、面向世界、面向未来，作为专业课教材，书中考虑了我国大电网、高参数、大容量发电机组的实际，从电力工业可持续发展的角度出发，更新了专业知识，涉及本课程的诸如核电厂、燃气—蒸汽联合循环发电、洁净煤发电、热电冷及热电（煤）气三联产发电等均作了适当介绍，以扩大学生视野。

本书在内容上加强理论基础，强调优化和环保。在论述上循序渐进，分散难点，给学生留有恰如其分的思考余地。每章前有内容提要，增加了例题；每章后有复习思考题和习题。为减轻学生负担，习题中的汽水参数值一般都给出，让学生集中在解算能力、思考分析上得到锻炼。

全书取材以国产300、600MW机组及其热力系统为主，适当介绍引进机组和国外有代表性的不同发电机组。

作为国家级重点教材，要照顾到全国各类高校的不同情况，各校使用时可有所调整。

本书由重庆大学郑体宽编写，由东南大学汪孟乐、西安交通大学林万超主审。在编写过程中，承兄弟院校、锅炉制造部门，汽轮机制造部门、设计和生产单位的大力支持，编者仅向他们表示深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在错误和不妥处，请读者批评指正。

编者

1999年12月

目 录

前 言	
第一版前言	
绪论	1
复习思考题	7
第一章 热力发电厂的评价及可持续发展	9
第一节 热力发电厂的安全生产与环境保护	9
第二节 热力发电厂的热经济评价	20
第三节 凝汽式发电厂的热经济指标	26
第四节 我国火力发电工业的资源节约、环境友好和可持续发展	37
复习思考题	41
习题	42
第二章 热力发电厂的蒸汽参数及其循环	43
第一节 提高蒸汽初参数	43
第二节 降低蒸汽终参数	52
第三节 给水回热循环	60
第四节 蒸汽再热循环	69
第五节 热电联产循环	78
复习思考题	100
习题	100
第三章 燃气—蒸汽联合循环、核能、地热及太阳能发电	101
第一节 燃气—蒸汽联合循环	101
第二节 核电厂	118
第三节 地热发电	130
第四节 太阳能热力发电	133
复习思考题	136
习 题	136
第四章 给水回热加热系统	137
第一节 热力系统的概念及分类	137
第二节 回热设备及其原则性热力系统	138
第三节 机组原则性热力系统的计算	154
第四节 回热加热器的运行	167
复习思考题	168
习题	169
第五章 给水除氧和发电厂的辅助汽水系统	171

第一节	热力发电厂的汽水损失及补充	171
第二节	锅炉连续排污利用系统	173
第三节	化学除氧	176
第四节	热除氧器及其原则性热力系统	178
第五节	除氧器的运行	191
	复习思考题	198
	习题	199
第六章	热电厂的对外供热系统	200
第一节	热负荷的特性及载热质的选择	200
第二节	热电厂的对外供热系统	204
第三节	热电厂的经济分析及供热系统的优化	211
	复习思考题	218
	习题	218
第七章	发电厂原则性热力系统	219
第一节	发电厂原则性热力系统的拟定	219
第二节	发电厂原则性热力系统举例	222
第三节	发电厂原则性热力系统的计算	236
第四节	发电厂原则性热力系统计算举例	240
	复习思考题	277
	习题	278
第八章	发电厂全面性热力系统	281
第一节	发电厂全面性热力系统的概念	281
第二节	管道与阀门的基本知识	282
第三节	一、二次蒸汽系统	292
第四节	旁路系统	302
第五节	给水系统及给水泵的配置	315
第六节	回热系统全面性热力系统	325
第七节	全厂公用汽水系统	329
第八节	发电厂全面性热力系统举例	336
	复习思考题	341
	习题	341
第九章	热力发电厂的运行	343
第一节	单元机组的运行	343
第二节	热力发电厂的热工自动化	354
第三节	热力发电机组的计算机控制系统	359
	复习思考题	366
	参考文献	367

绪 论

一、热力发电厂的生产与资源、环境

1. 我国的能源结构

能源是社会发展的物质基础。自然界存在的煤、石油、天然气、水能、海洋能、风能、太阳能、地热能等均是提供动力的能源,称为天然能源,因无需加工或转换即可利用,又称为一次能源,其中化石燃料(煤、石油、天然气)和水能,统称为常规能源。由一次能源经加工转换成电能、热能(蒸汽、热水)、焦炭、煤气,各种石油制品、酒精、沼气等统称为人工能源,又称为二次能源。太阳能、水能、风能、地热能、海洋能(潮汐能、波浪能、温差能)生物质能等统称为再生能源。核能、燃料电池等称为新能源。利用太阳能、地热能、风能、生物质能发电,又统称为绿色电力。

我国是一次能源丰富的国家,但一次能源分布严重不均。水能资源的90%在西南、西北部,煤资源的80%在西北部,而能源消费的70%却集中在东部及沿海发达地区,造成西电东送,北煤南运的格局。火电厂是全国三大耗煤户之一,其燃料费占火电成本的60%~80%。全国铁路运输的40%和水运总量的1/3用于煤炭运输,是造成铁路、水路运输紧张的因素之一。

我国是世界上少有的几个以煤电为主的一次能源国家,2007年底,煤电比例为77.73%。动力煤中灰分高(28%~30%),含硫量大于1%的煤占40%,6MW及以上火电厂SO₂排放约6.83Mt,约占全国工业排放量的30%,严重污染环境。

2. 热力发电厂生产的实质

本课程主要研究热力发电厂及其热力系统的安全、经济运行、可持续发展并获得最佳的经济效益和社会效益。

热力发电厂生产的实质是能量转换,即将燃料中的化学能通过锅炉中燃烧转变为蒸汽的热能,并通过汽轮机的旋转变为机械能,最后通过发电机转为所需的电能。图0-1为燃煤电厂生产过程的示意图。从图0-1中可以看到,燃料煤从储煤场经输煤皮带送入原煤仓,经给煤机送入钢球磨煤机;被磨成粗的煤粉,在热空气的输送下,由磨煤机出口引往粗粉分离器,不合格的煤粉返回磨煤机入口再磨,合格的粗煤粉则送入旋风分离器;被分离后的细煤粉落入煤粉仓,从煤粉仓下来的细煤粉经给粉机将热空气和细煤粉经燃烧器喷入炉内燃烧。燃烧生成的上千摄氏度的高温烟气,通过炉膛四周的水冷壁管将管内给水加热,水冷壁内的给水被加热成的饱和蒸汽升入汽包,从汽包出来的饱和蒸汽引至烟道内的蛇形管式过热器加热成过热蒸汽引至汽轮机,这一过程是在锅炉内将燃料中的化学能转变为具有一定压力和温度的蒸汽热能。燃料燃烧所需的空气,通过送风机,将锅炉顶部处的空气先送至位于锅炉尾部烟道内的空气预热器加热;被加热后的热空气送至磨煤机及其制粉系统。炉膛内产生的高温烟气,先在炉膛内向四周的水冷壁辐射放热后,沿水平烟道内过热器,对流传热将蒸汽加热为过热蒸汽,再沿尾部烟道的省煤器、空气预热器,先后对流传热加热省煤器内的给水、空气预热器内的空气,并被引风机引至除尘器;被除尘后的烟气经引风机再引至烟囱,最后

排入大气。燃烧后的煤渣落入炉膛下的灰斗,连同与尾部烟道下细灰斗落下的细灰和除尘器落下的细灰一并引至除渣灰系统。从锅炉过热器引出的蒸汽沿主蒸汽管道将蒸汽引入汽轮机,在汽轮机内膨胀做功,使汽轮机以 3000r/min 的高速旋转,将蒸汽热能转变为机械能,并通过联轴器拖动发电机再将机械能转变为具有一定电压的电能,最后通过主变压器将电压升高后并入电网,通过电网传输至各用户,即将机械能转变为电能。在汽轮机膨胀做功后的蒸汽最后排入凝汽器放热给冷却水(冷源)后凝结成凝结水,而冷却水被加热后再引返至冷却水源。若采用循环供水系统(图 0-1 中未表示),从凝汽器出来的被加热后冷却水则引至冷却设备(如冷却池、喷水池和冷却塔),被冷却后再引回至凝汽器,循环使用。为提高热力发电厂的热经济性采用回热循环,即将已做了一部分功的蒸汽,(图 0-1 所示为三级回热)抽出分别引至低压加热器、除氧器 and 高压加热器,将给水加热,再由位于除氧器下侧的给水泵将除过氧的给水,先送进锅炉尾部烟道内的蛇形管式省煤器进一步加热之后,才引入汽包(图 0-1 中未显示)。现代热力发电厂均采用具有多级(7~8 级)回热的再热循环。

3. 热力发电厂与资源利用

热力发电厂要占土地,要耗煤、耗水。根据发电厂的生产、施工和生活需要,要占有相当大的土地面积。中国 1996 年全国耕地面积为 19.51 亿亩,2006 年仅拥有 18.27 亿亩,10 年就减少了 1.24 亿亩。中国 2003 年人均耕地面积 1.43 亩,2005 年下降为 1.4 亩,仅为世界平均值的 40%。国家有关部门要求到 2020 年必须保持全国耕地 18 亿亩的红线,不能再突破,形势非常严峻。以 $2 \times 600\text{MW}$ 的燃煤电厂为例,若每万千瓦占地以 0.30ha 计,即须占地 36ha (540 亩)。1200MW 电厂,每天需耗煤近万吨,年耗煤三百余万吨,而开采煤矿不仅要占地,而且破坏森林、草地面积。到 2000 年底,我国因之累计占用土地面积约 586 万 hm^2 ,破坏土地面积约为 157 万 hm^2 ;每采 1 万 t 煤,平均塌陷地 0.2 hm^2 。现代电厂还需要一定数量和质量的水,以保障生产、生活之需。1000MW 电厂采用直流供水系统时,约需 $35 \sim 40\text{m}^3/\text{s}$,循环供水系统时约需 $0.6 \sim 1\text{m}^3/\text{s}$,需水量是庞大的。中国是 13 个水资源贫乏国家之一。联合国可持续发展委员会认为:人均占有水量 2000m^3 以下者,属严重缺水。我国现在有 11 省市的水资源人均占有量不到 1000m^3 。四川省水利厅预测,到 2010 年全四川缺水量为 200 亿 m^3 ,到 2020 年缺水量将突破 500 亿 m^3 。

4. 热力发电厂与环境保护

综上所述,燃煤电厂要占用土地资源,要消耗化石燃料、水资源,并拌有大量的灰渣要排出,还有废水、废气。从烟囱排出的烟气中含有 SO_2 、 NO_x ,严重影响大气的质量。我国 2005 年发电用煤达 11 亿 t,全国 SO_2 排放总量为 2500 万 t,位居世界第一,比 2000 年增加了 27%,酸雨面积已占国土面积的 30%。火电的重金属(密度在 $3\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的)来自煤的燃烧,就环境而言,汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)等为生物毒性显著的重金属,锌(Zn)、铜(Cu)、钴(Co)、镍(Ni)为具有一定毒性的重金属。另外,火电厂噪声等严重污染环境,影响人们健康,也日益引起人类的关注。建设热力发电厂时,应充分考虑节约用地,尽量利用非耕地(我国现有非耕地 49 亿亩)和劣地,尽量不破坏原有森林、植物,减少土石方开挖量,还应注意少拆房,减少人口迁移等问题。

1972 年联合国在斯德哥尔摩召开了第一次人类环境会议,发表了《人类环境宣言》。1973 年 8 月,我国召开了第一次全国环境会议,制定了我国的“全面规划,合理布局,综合利用,化害为利,依靠群众,大家动手,保护环境,造福人民”的环保方针,并成立了管

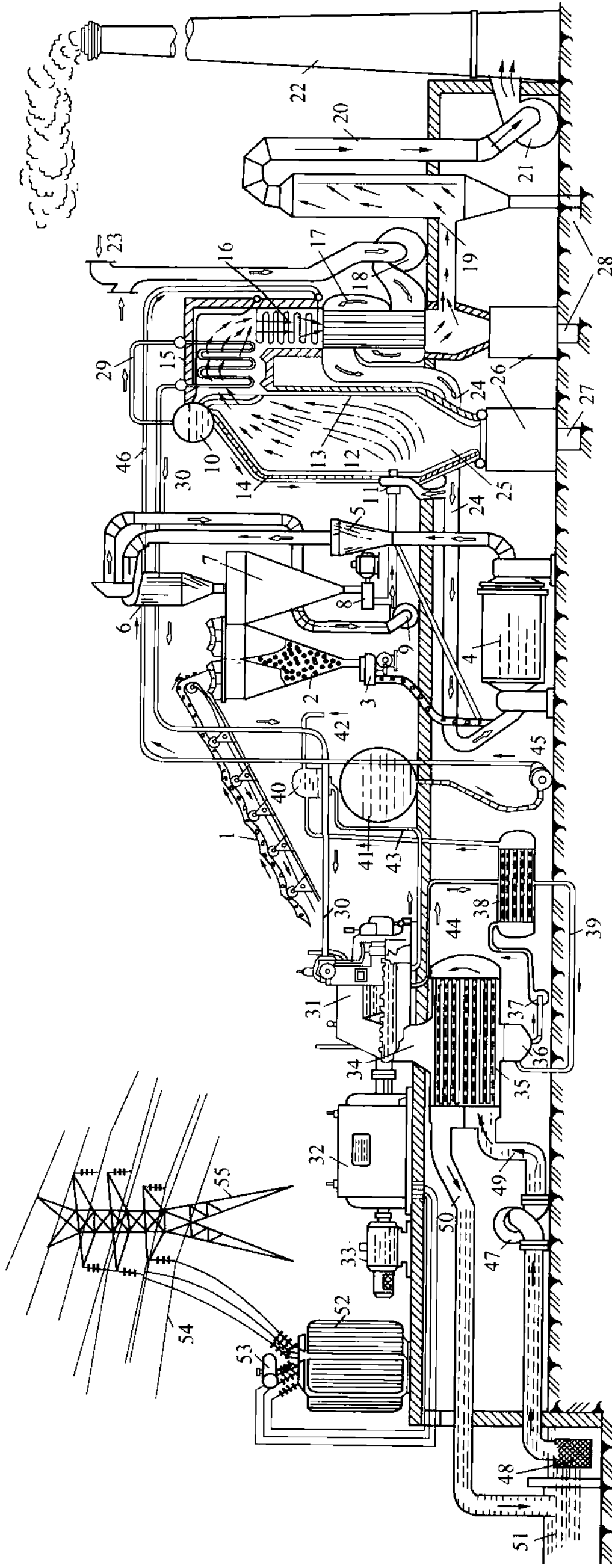


图 0-1 燃煤电厂生产过程示意图

1—运煤皮带；2—原煤仓；3—圆盘给煤机；4—钢球磨煤机；5—粗粉分离器；6—旋风分离器；7—煤粉仓；8—给粉机；9—排粉机；10—汽包；11—燃烧器；12—炉膛；13—水冷壁；14—下降管；15—过热器；16—省煤器；17—空气预热器；18—送风机；19—除尘器；20—烟道；21—引风机；22—烟囱；23—送风机的吸风口；24—热风道；25—冷灰斗；26—除灰设备；27—冲渣沟；28—冲灰沟；29—饱和蒸汽管；30—主蒸汽管；31—汽轮机；32—发电机；33—励磁机；34—乏汽口；35—凝汽器；36—热井；37—凝结水泵；38—低压加热器；39—低压加热器疏水管；40—除氧器；41—给水箱；42—化学补充水入口；43—汽轮机第一级抽汽；44—汽轮机第二级抽汽；45—给水泵；46—给水管道；47—循环水泵；48—吸水滤网；49—冷却水进水管；50—冷却水出水管；51—江河或冷却设备；52—主变压器；53—油枕；54—高压输电线；55—铁塔

理部门,做了许多工作,制定并颁布了环境保护、水污染防治、固体废物污染防治、噪声污染防治、大气污染防治等法律法规,还制定了相应的国家标准,提出节约型经济、循环经济已初见成效。须严正指出,我国的水污染情况,有的是很严重的。全国每年工业和城市污水排放量已达600亿t。如松花江水污染事件,2007年3月29日频太潮的江苏无锡遭遇了非常严重的臭自来水的的事件,是对无锡地区(涉及太湖周围城市)重经济发展,重国内生产总值GDP增长,而忽视环境保护敲响的警钟。据长江水利委员会新闻发言人2007年11月13日公布,长江流域2006年的污染排放量总计达305.5亿t,为历年污染排放量之最。温家宝在第十届全国人大五次会议上工作报告中指出:加大污染治理,继续抓好“三河三湖”(淮河、海河、辽河、太湖、巢湖、滇池)、松花江、三峡库区及上游等重点流域的污染治理。据央视报道,山西太原成立了排放监测中心,实时监测各排放口。第一时间发现排放超标,立即通知该排放单位,并配合拉闸停电。重庆电视台2007年6月28日报道,市环保局在媒体曝光了8家环保违规单位,其中5家被责令停产,余3家被限期改正,这均是强有力的治污实例。现已提出“绿色电厂”,规划要碧水、蓝天、绿地、宁静,“零排放”电厂的要求。建热力发电厂对环境的影响和建“零排放”电厂的要求,可简而言之为环境友好。其他环保技术措施,将在以后章节中结合所讲内容介绍。

二、我国发电工业概况

1949年,全国装机容量仅1.85GW,居世界第21位;发电量4.3TW·h,居世界第25位;年人均用电量仅8kW·h;供电标准煤耗率高达1.13kg/(kW·h)。所建电厂多在东北和沿海地区,发电设备全部依赖进口。

中华人民共和国成立58年来,我国发电工业有了迅速的发展。

首先,新建了大批火电厂,遍布各省区。1995年,发电装机容量突破了2亿kW。仅2005年全国新增火电、水电、核电的装机容量超过60GW,创造世界罕见的电力建设速度。2006年,新增装机容量1亿kW,电力总装机容量达6.22亿kW,两者均居世界第二位,供需基本平衡。截止2007年底,全国发电装机容量达到713290MW。

其次,单机容量由亚临界参数的300、600MW机组,提高到超临界参数的600、800、1000MW机组,并已建有一批超超临界参数1000MW机组。2006年,我国生产的火电机组中,300MW级以上机组占70%,其中600MW级以上机组占48.3%。这些大机组的自动化水平高,均装有计算机监控系统。

第三,以煤电为基础,多元发展。我国水能蕴藏量及可开发容量,均居世界第一位。到2004年,全国水电装机容量为108GW,占全国发电总容量的24.5%;火电为325GW,占总容量的73.7%。根据我国的煤、水、油资源等情况,今后相当长一段时间仍以火电为主。我国核电起步于20世纪80年代,到2007年底已建成三个核电基地共11台座核电机组,总容量10GW。建了一批热电联产电厂,装的C50、CC50型抽汽式供热机组和NC200、NC300型凝汽采暖两用式机组及背压式机组,与热电冷、热电煤(气)联产发电。除燃煤机组外,还装有燃气轮发电机组,燃气—蒸汽联合循环发电厂。再生能源发电方面也实现了零的突破:到2006年底,全国在建秸秆发电项目34个,装机总容量1200MW,建成垃圾发电、地热发电、太阳能光伏电池发电、沼气发电等。为适应大电网的填谷调峰的需要,我国东北、北京、华东等地区已建有一批抽水蓄能电站,以华东地区为例,已建有总容量2060MW的抽水蓄能电站。

第四，重视环保初见成效。小火电机组能耗高，污染大，“十五”期间已关了400余万kW，仅2007年要再关停1000万kW小火电机组，已提前两个月完成关停小火电1043万kW，年节煤1450万t。大型火电机组应采用烟气脱硫技术，至2004年底，全国已有200万kW机组的烟气脱硫设施投运，约300万kW在建脱硫技术。到2007年底，我国火电厂的烟气脱硫装置容量超过2.7亿kW，火电占全国火电装机容量的50%。如邹县发电厂2×600MW机组的烟气脱硫设施投运，脱硫效率95%，每年可减少排放3万t。配循环流化床的150、300MW发电机组已投运多套。为适应缺水地区的需要，已建成一批200、300、600MW直接空冷汽轮机发电机组，我国首座循环经济型4×600MW机组火电厂在浙江宁海投产。

第五，由于采取了节能降耗诸多措施，以及管理人员素质和管理水平的提高，煤耗率逐年下降，2006年全国平均供电标准煤耗率降至366g/(kW·h)。

第六，管理机制方面，实施政企分开，撤销了电力部，成立国家电网公司和南方电网公司，各省区也相继成立电力公司。完成了厂网分开，竞价上网，为发电工业完成市场化奠定了基础。

第七，引进技术消化为具有自主产权的技术。如超超临界600、1000MW火电机组，1000MW核电机组，600MW直接空冷发电机组等，以掌握先进科学技术。我国还出口了整套火电、核电机组，迈入国际市场。

但是，我国幅员广，人口多，是发展中国家，人均资源占有量仅为世界平均值的1/2，美国的1/10。人均煤资源探明储量为世界均值的51.3%，石油为11.3%，天然气仅有3.78%。全国电力增长速度应始终高于经济增长的速度，即电力弹性系数应大于1，我国“四五”以后都是小于1，是造成长期供电紧张的主要原因。各国发电能源占一次能源的比重为，加拿大60.8%，法国53.6%，日本51.2%，美国40.8%，德国36.9%，意大利32.2%，我国只有28.8%左右。

1998年，我国人均装机容量为0.222kW，人均发电量只有927kW·h，为世界平均值的1/3，为发达国家的1/10~1/6；目前我国有近2000万人没用上电；200MW以下机组占火电机组装机容量的58%，全国平均供电煤耗率比世界先进水平国家高60~70g/(kW·h)。这些差距，正说明我国发电工业有巨大的发展前景和空间。

三、我国电力中长期预测及热力发电技术发展动向

1. 我国电力发展预测

用弹性系数预测GDP翻两番的电力需求，如表0-1所示。

表 0-1 用弹性系数法预测 GDP 翻两番的电力需求

方案类别	2010年			2020年		
	电力需求增长率 (%)	电力需求量 (亿 kW·h)	装机容量 (亿 kW)	电力需求增长率 (%)	电力需求量 (亿 kW·h)	装机容量 (亿 kW)
低方案	7.5	33 750	7.5	4.4	51 920	11.5
中方案	8.25	35 190	7.8	4.6	55 180	12.3
高方案	9.0	36 680	8.2	4.8	58 620	13.0

预计至2010年我国发电装机容量将达7.5亿kW（即与表0-1中的低方案相吻合），其

中煤电约 5.2 亿 kW, 占 70%; 水电 1.6 亿 kW, 占 22%。2020 年, 煤电比重再降至 65%。

“开发和节约并重, 近期把节能放在优先地位”、“把节约能源资源放在更突出的战略位置”是我国能源利用的基本国策。不仅人均国内生产总值到 2020 年要比 2000 年翻两番, 而且单位国内生产总值的能耗比“十五”(2005 年)降低 20%, 这两项目标的提出, 将对我国的国民经济和社会发展产生深远影响。但 2007 年 GDP 能耗仅下降 3.27%, 未完成 4% 的目标, 要完成 2010 年的原定任务更艰巨了。

2. 热力发电技术的发展动向

(1) 高效发电技术。

(2) 洁净燃烧发电技术。

(3) 烟气净化技术。

(4) 加快核电的发展。

(5) 大型火电机组的自动控制技术。(1) ~ (5) 五个技术发展动向, 将在本书有关章节中介绍。

(6) 可再生能源和新能源发电技术。

全球可再生能源占一次能源的 18%, 预计到 2050 年将达 22%。我国规划可再生能源 15 年后将占一次能源总量的 10%。

我国太阳能资源丰富, 约 2/3 地区年平均日照时数大于 2000h。至 2004 年, 我国太阳能光伏发电总容量为 35MW, 仅为世界的 3%; 风能是太阳能的另一种形式, 我国可开发的风能约 10 亿 kW, 居世界第一位, 大于我国水能资源 3.8 亿 kW, 约为全球风能资源的 5%。到 2006 年底, 全国已建成 80 座风电场, 总装机容量 2300MW, “十一五”时将达到 5000MW。国内首台 2000kW 最大风力发电机已于 2007 年 11 月批量生产。这台风电机组由中国重工(重庆)海装风电设备公司与德国艾罗迪公司联合设计, 它具有自主知识产权, 国内单功率最大, 价格比同类进口货便宜 30%。中国第一个海上风电场将于 2009 年在上海建成, 该风电厂总装机容量为 100MW, 预计发电量可达 2.6 亿 kW·h, 可供上海 20 万户居民使用一年。全国风电装机容量 2020 年将达到 20GW, 2030 年可达 1 亿 kW, 2050 年可达 4 亿 kW, 将成为我国第三大发电能源。中国将成为继荷兰、丹麦、英国等之后又一个拥有风电场的国家。森林和林业剩余物资源相当于 2 亿 t 标准煤, 可为能源的秸秆折合约 3 亿 t 标准煤。足见我国再生能源的巨大潜力。我国在《可再生能源中长期发展规划》中指出: 要把发展可再生能源作为一项重大的战略措施, 要提高可再生能源在能源结构中的比重。重庆、浙江义乌均已建成垃圾发电厂。西藏羊八井等地热电站是我国第一批地热电站。

发电新技术有燃料电池。1969 年, 美国阿波罗飞船登上月球的电源装置就是燃料电池。据资料介绍, 由高压低温形成的甲烷水混合物(又称天然气水混合物, 或可燃冰)沉积于海底, 其全球蕴藏量超过现有煤、石油、天然气储量总和的两倍, 2012 年即可开发。据我国科技日报报道, 我国南海北部成功钻获天然气水混合物实物样品“可燃冰”, 据初步预测, 仅该区域远景资源量可达上百亿桶油当量, 足见可燃冰是很有开发研究的一种新能源。

四、热力发电厂的类型及对热力发电厂的要求

热力发电厂的类型如表 0-2 所示。

表 0-2 热力发电厂的分类

分类方法	热力发电厂类型					
	化石燃料发电厂	核能发电厂	再生能源发电	垃圾发电厂	磁流体发电厂	新能源发电厂
能源	化石燃料发电厂	核能发电厂	再生能源发电	垃圾发电厂	磁流体发电厂	新能源发电厂
电厂功能	供电的凝汽式发电厂	供电、供热的热电厂	供电、供热、供冷(制冷)的发电厂	供电、供热、供煤气的发电厂	多功能热电厂	—
原动机类型	汽轮机发电厂	内燃机发电厂	燃气轮机发电厂	燃气—蒸汽联合循环发电厂	—	—
单机容量	100MW 及以下为小型	200~300MW 为中型	600MW 及以上为大型	—	—	—
电厂容量	小容量电厂 200MW 以下	中等容量电厂 200~800MW	大容量电厂 1000MW 及以上	—	—	—
进入汽轮机蒸汽初参数	中低压发电厂 3.43MPa 以下	高压发电厂 8.83MPa	超高压发电厂 12.75MPa	亚临界压力发电厂 16.18MPa	超临界压力 ^① 发电厂 24.2MPa 以上	超超临界压力 ^① 发电厂 30MPa 以上
服务性质	孤立发电厂	列车电站	企业自备发电厂	区域性发电厂	—	—
电厂位置	负荷中心电厂	坑口、路口、港口发电厂	煤源与负荷中心之间发电厂	煤电联营发电厂	—	—

① 超临界、超超临界压力蒸汽初参数，均尚未列入我国的相应标准。

对热力发电厂的基本要求是：在满足安全可靠生产的前提下，经济适用，符合环保要求及有关环保的法令、条例、标准和规定，满足可持续发展要求，以合理的投资获得最佳的经济效益和社会效益；提高发电厂的可靠性、劳动生产率和文明生产水平；要节约能源、节约用地、节约用水、节约材料，并确保质量；瞄准国际先进水平的一流企业不懈努力和追求。

五、本课的任务和作用

在已学热能动力专业技术基础课、专业课的基础上学习热力发电厂课程。本课程是以热力发电厂整体为对象，着重研究不同热力发电厂的热功转换理论基础，并以大型汽轮机发电厂的热力设备及其热力系统为重点，在满足安全、经济、适用、灵活、环保的要求下，分析热力发电厂的经济效益，并侧重于热经济性的研究。热经济性的定性分析以熵方法为主，定量计算以常规方法为主。

热力发电厂是一门政策性强、综合性强，与火电厂生产实际紧密相连的专业课程之一。通过本课的学习，培养学生树立安全、效益（经济效益、社会效益、环保效益）相统一的观点，以提高学生分析、研究、解决热力发电厂课程业务范围内生产实际问题的独立工作能力。

复习思考题

- 0-1 我国发电能源结构对电力工业和国民经济的发展、一次能源需求和环境保护有何影响？
- 0-2 优化的发电能源结构应是怎样的结构？应从哪些方面来具体实施发电能源结构的优化？
- 0-3 什么是热力发电厂的经济效益？评价经济效益的原则是什么？

- 0-4 提高热力发电厂经济效益的主要途径有哪些?
- 0-5 什么是热力发电厂的环境效益? 评价环境效益的原则是什么?
- 0-6 与先进国家相比, 我国热力发电方面还有哪些差距?
- 0-7 21 世纪我国热力发电厂面临的形势如何?
- 0-8 如何归纳热力发电厂的技术发展动向? 其核心是什么?
- 0-9 新世纪热力发电发展形势下, 对未来热动工程师有何期望和具体要求?

第一章 热力发电厂的评价及可持续发展

本章提要

对热力发电厂总的评价是要在安全可靠的前提下,提高其热量利用率,并符合环保的要求适应电力持续发展的需要。本章先讨论发电厂的安全、可靠管理和寿命管理,再讨论热力发电厂的环保评价,然后重点讨论热力发电厂热经济评价的两种基本分析方法,以及我国现行的用热量法分析凝汽式发电厂的热经济性及其指标的定量计算。

第一节 热力发电厂的安全生产与环境保护

热力发电厂必须在满足安全生产的前提下力求经济(热经济与技术经济),并能实现环境保护和可持续发展。

一、热力发电厂的安全可靠性

(一) 安全管理

电力是国民经济建设的能源物质基础,关系到整个国家经济的发展和人民物质文化生活的提高。电力工业必须先行,与其他行业相比,其突出特点是电力的产、供、销是连续瞬时完成的,不可能储存。如果电力生产不安全,供电不可靠,势必严重影响工农业生产和人民生活,不仅会造成国民经济的巨大损失,而且可能酿成严重的社会灾害,乃至影响人民安危。电力企业的效益,首先体现在安全可靠供电的社会效益。

随着生产的发展和科学技术的进步,热力发电向高蒸汽初参数(超临界参数、超超临界参数)、大容量单机功率(600~1000MW级)发展,电网也不断扩大至几千万千瓦,最终目标是实现全国联网。高参数、大机组、大电网有很多优点,但是既然联网构成整体,各厂众多设备、部件相互关联,任一环节、部件或某一运行操作不当,发生事故,如不能及时消除,会连锁反应酿成大面积或整个电网长时间停电,甚至全网瓦解。2003年8月14日,美国东北部、中西部和加拿大南部发生大面积停电,导致100多台发电机关闭,波及许多城市,给当地交通、通信和居民生活造成了严重影响。2006年11月4日,欧洲发生了大面积停电,西欧大片人口密集地区陷入黑暗之中,停电波及西欧多个国家,德国、法国和意大利三国受影响最大,大部分地区一个小时后恢复供电。1982年,我国华中电网瓦解,湖北电网事故甩负荷895MW,全省停电十几个小时。这些事故造成直接、间接经济损失巨大。

电力企业必须坚持“安全第一、预防为主”的方针。这是电力工业生产特征所决定的,是任何时候都不能动摇的电力工业企业生产和建设的基本方针。要特别强调指出,电力安全生产是涉及全过程管理的问题,不应仅仅是运行部门的事,应从煤的质量和设备原材料及其制造工艺与质量、规划设计、安装调试、运行能力以及生产经营、组织管理等各环节抓起、抓好,才能做到预防为主、安全第一。

热力发电设备日趋先进, 机械化、自动化程度日益提高, 目前已经实现在线、离线的计算机监控等, 但再好的硬件设备, 最终仍须人去操作、管理, 因此, 提高火电职工素质更为重要, 对保障安全、提高效益有极大的作用。我国已进口并自行开发了 200、300、600MW 火电、核电仿真培训机, 已建立了一些仿真培训中心, 并取得了良好效果, 这也是火电安全管理的突出实例。

(二) 可靠性管理

1. 火力发电厂可靠性管理的任务与作用

可靠性的理论研究与开发应用, 最早是应用于空间技术和军工方面。20 世纪 60 年代中期, 一些工业发达国家相继发生特大停电事故, 可靠性管理才开始引用到电力工业。美国和加拿大于 1968 年联合成立了北美电力可靠性协会 (NERC)。1980 年, 美国电气电子工程师学会 (IEEE) 制订了“统计、评价发电设备可靠性、可用率和生产能力用的术语定义”试用标准。日本、英国、法国和前苏联等国家也都开展了电力可靠性管理工作, 均取得了显著效果。我国从 20 世纪 70 年代才起步, 现已建有中国电力可靠性管理中心。

火力发电厂可靠性是指在预定时间内和规定的技术条件下, 保持系统、设备、部件、元件发出额定电力的能力, 并以量化的一系列可靠性指标来体现。

2. 火力发电厂的可靠性指标

火力发电厂主要设备的可靠性是火力发电厂可靠性指标的基础。设备的可靠性是以统计时间为基准的以机组所处状态的各种性能指标来表征。

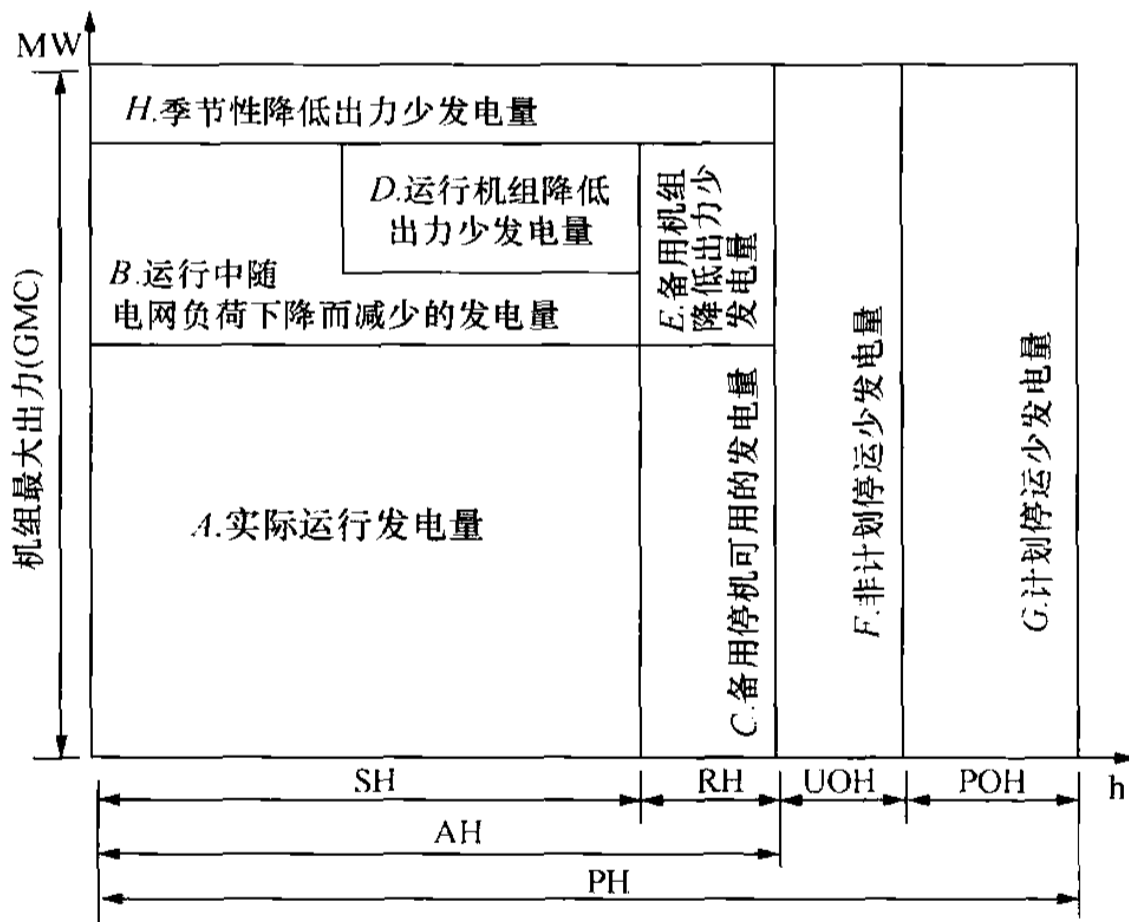


图 1-1 火电机组状态图

图 1-1 为机组状态图, 纵坐标为机组最大出力 GMC, MW, 一般为机组额定容量; 横坐标 PH 为统计期间 (按季或年计) 小时数。图中面积为发电量 $W, MW \cdot h$ 。由图可知, 可用小时 AH 为运行小时 SH 与备用小时 RH 之和, POH 为计划停用小时数, UOH 为非计划停运小时数。UOH 分为五类情况, 依次为: ①UOH₁ 需立即停运; ②UOH₂ 需 6h 内停运; ③UOH₃ 在 6h 以上, 但在周末前停运; ④UOH₄ 可延至周末后, 但需在下次计划停用前从可用状态退出运行的停用; ⑤UOH₅ 超过计划停用期限的延长时间的停运。前三项总称为强迫停用小时 FOH。

我国火力发电厂可靠性指标有 23 个, 其中主要的是可用系数 AF、非计划停运系数 UOF、等效可用系数 EUF、强迫停用率 FOR 和非计划停用次数。后两项是目前考核发电厂可靠性的指标。

我国火力发电厂可靠性指标有 23 个, 其中主要的是可用系数 AF、非计划停运系数 UOF、等效可用系数 EUF、强迫停用率 FOR 和非计划停用次数。后两项是目前考核发电厂可靠性的指标。

可用系数
$$AF = \frac{AH}{PH} \times 100 = \frac{SH + RH}{PH} \times 100 \quad (1-1)$$