

电力工程建设技术经济丛书

机务

中国电力企业联合会 编
电力建设技术经济咨询中心



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑：刘宇峰 刘瑞玲

工程造价综合知识

电气与热工控制

高压送电线路

建筑

机务



ISBN 7-5083-1237-6



9 787508 312378 >

ISBN 7-5083-1237-6
定价： 48.00 元

电力工程建设技术经济丛书

机 务

中国电力企业联合会 编
电力建设技术经济咨询中心



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《电力工程建设技术经济丛书》的一个分册。本书简单介绍各种新型热力发电方式。重点介绍常规火力发电厂机务专业的各种生产系统,主机、主要辅机的结构、原理及安装工程的项目及费用性质划分;机务安装工程施工图预算编制及初步设计概算编制方法。书中还附有工程量计算及概、预算实例。

本书可供从事电力建设技术经济机务人员学习使用,也可供从事电力建设其他专业人员和大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机务/中国电力企业联合会,电力建设技术经济咨询
中心编. —北京:中国电力出版社,2002

(电力工程建设技术经济丛书)

ISBN 7-5083-1237-6

I. 机… II. ①中…②电… III. 火电厂-工程经济-
经济管理 IV. F407.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 073735 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 [http://www. cepp. com. cn](http://www.cepp.com.cn))

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003年1月第一版 2003年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 420千字

印数 00001—10000册 定价 48.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

随着我国电力建设事业的快速发展,与电力建设事业紧密相关的电力建设工程造价管理和工程计价依据的改革也在不断深化并取得了优异成绩,这些成绩的取得与广大电力建设技术经济工作者的努力是分不开的。

21 世纪,科学技术飞速发展,新技术、新工艺、新设备、新材料不断涌现,300MW、600MW 火电机组已成为我国电力生产的主力机组,330kV、500kV、 ± 500 kV 高压输电线路已成为我国电网的主网架,750kV 输电线路也即将开始建设。随着我国加入 WTO,电力行业的投资体制、企业经营机制等方面的改革将会继续深化,并逐步与国际接轨。与此相适应,必然对从事电力建设工程的广大技术经济工作者在经济、技术和法律法规方面提出更高的要求,为了适应形势,中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心组织编写了这套电力工程建设技术经济丛书,作为广大电力工程建设技术经济工作者继续教育、充实提高的学习资料和新上岗人员的培训教材。这套丛书的编写标志着电力建设技术经济队伍建设向着系统化、规范化方向迈出了可喜的一步。

“十五”计划纲要报告中要求:“实施人才战略,培养和造就掌握先进科学技术和知识、创新能力强、适应经济和社会发展需要的各类专业人才队伍和企业经营管理者队伍。”市场竞争的本质是人才竞争,要抓好控制和合理计定工程造价,一个十分重要的问题就在于继续加强技术经济队伍的建设,提高整体素质。电力建设技术经济队伍承担着电力建设工程造价的计定、管理和控制等多方面的任务,多年来,对建设项目投资效益的提高,保证市场的有序、规范,提高企业经济效益等方面发挥了重要的作用,作出了很大贡献。今后,还要更加努力,把电力建设技术经济工作做得更好。

与时俱进,学习、学习、再学习,是摆在广大电力建设技术经济工作者面前的新任务。这套丛书内容新颖、系统、实用、权威,便于电力建设技术经济人员全面学习,便于掌握施工、机械、材料、设备等工程技术问题和定额、技术经济原理方面的知识,是一套极具实用价值的丛书;丛书中同时包括了与技术经济工作相关的经济、财会、项目管理、合同管理和专业定额、概预算实例等诸多内容,亦可作为电力建设技术经济工作者的工具书。

这套丛书的出版必将促进我国电力工程建设经济专业的发展和进步,并为我国电力工业的发展做出贡献!

孙宏

2002 年 9 月

为适应社会主义市场经济体制和电力建设工程项目实行全过程工程造价管理的需要,满足电力建设工程经济专业发展的要求,加强电力工程建设技术经济人员行业管理,不断提高电力工程建设技术经济专业队伍人员整体素质,逐步将电力建设概预算人员资格认证工作与全国建设行业造价工程师考试和注册工作相结合,电力建设技术经济咨询中心在全国范围内组织技术经济专家、学者编写了《电力工程建设技术经济专业丛书》。丛书全套共分五册:《工程造价综合知识》、《机务》、《电气及热工控制》、《建筑》、《高压送电线路》。

本套丛书从1999年4月开始启动,历时2年半,经过多次审查,几易其稿。在编写中力求更好地吸取以往类似教材的优点,针对当前技术经济人员技术、施工基础较弱的现状,加大了技术部分的比重,力求符合当前电力建设实际工艺、设备、施工情况。本丛书选材广泛,案例联系实际并具有代表性,较充分地反映和符合当前的政策、法规和文件规定,是为从事电力工程经济管理工作的在职人员知识更新、继续教育而编写的,也可供从事电力工程建设的各级领导人员、工程技术人员和大专院校相关专业师生作学习参考,同时,亦将作为电力工程建设概预算人员考试认证的培训教材。

本丛书编写过程中得到了中电联、国家电力公司电源部、国家电力公司电网部领导的大力支持,得到了华北电力大学、西北电力设计院、华北电力设计院、北京恒信诚达工程造价咨询事务所有限责任公司、电力规划设计总院及部分网省电力公司、设计院、施工单位的大力支持,在此表示衷心感谢!向提供素材并参与审查的所有人员表示感谢!

本丛书尽管各方面给予了大量关注,编写组亦十分认真努力,但由于编写组理论和实践上都可能存在不足和不当之处,诚恳希望广大读者提出宝贵意见,并请各方面的专家予以指正。

中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心

中国电力企业联合会电力建设定额站

国家电力公司电力建设定额站

2002年8月

《电力工程建设技术经济丛书》是由中国电力企业联合会、电力建设技术经济咨询中心组织编写的。本书为《电力工程建设技术经济丛书》的分册《机务》。

《机务》简单介绍了各种新型热力发电方式,如:燃气-蒸汽联合循环、整体煤气化燃气-蒸汽联合循环、增压流化床燃烧联合循环、原子能发电、地热发电、垃圾发电、循环流化床锅炉发电等。本书重点介绍常规火力发电厂机务专业的各种生产系统,主机、主要辅机的结构、原理及安装施工方法;常用安装材料的品种、选用及施工技术;机务安装工程的项目及费用性质划分;机务安装工程施工图预算编制及初步设计概算编制办法。书中还附有工程量计算及概、预算编制实例。作者根据其数十年的工作经验及概、预算编制工作的现状,阐述了影响机务主要安装工程量的技术要素,设备的招标、评标办法,对提高初步设计阶段工程量的准确性有较好的指导作用。总之,本书内容是电力建设技术经济机务专业人员应掌握的技术专业及经济专业的基本知识,也可供电力建设其他有关专业人员和大专院校师生阅读参考。

本书第5章由张天文、李苇林同志编写,陈开如同志审核;概预算例题由张贵云同志编写,陈开如同志审核;其余章节由陈开如同志编写,牛聚秦同志审核。冉巍、陈雨松同志也参与了部分编写工作。

编者

2002.8.15 于西安

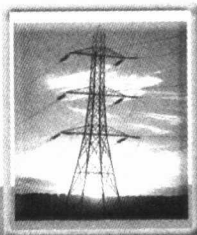
序一

序二

前言

◆第一章 热力发电厂概述	1
第一节 热力发电厂的类型	1
第二节 凝汽式发电厂的热效率及热损失	40
第三节 热力发电厂的主要技术经济指标	44
◆第二章 机务专业主要生产系统	47
第一节 热力系统	47
第二节 煤粉制备系统	54
第三节 输煤系统	57
第四节 除灰除渣系统	58
第五节 化学水处理系统	61
第六节 供水系统	66
第七节 烟气脱硫系统	70
◆第三章 锅炉机组	77
第一节 锅炉概况	77
第二节 锅炉本体结构	83
第三节 锅炉燃料	88
第四节 锅炉辅机	90
◆第四章 汽轮发电机组	100
第一节 本体设备	100
第二节 电站汽轮机主要辅机	112
第三节 汽水管道设计	130
第四节 保温设计	124
◆第五章 机务专业常用安装材料	127
第一节 一般工程材料	127

第二节	阀门	137
第三节	管材	141
第四节	管件	145
第五节	管道支吊架	150
第六节	绝热及防腐	154
第七节	主要消耗性材料	157
◆第六章	机务安装工程施工技术	●
第一节	锅炉安装	161
第二节	汽轮发电机组安装	172
第三节	主要辅机及管道安装	180
第四节	焊接技术	190
第五节	保温油漆施工	194
◆第七章	机务安装工程项目划分及费用性质划分	●
第一节	机务安装工程项目划分	198
第二节	机务专业费用性质划分	200
◆第八章	机务安装工程施工图预算编制	●
第一节	预算定额	203
第二节	工程量	230
第三节	价格	239
第四节	预算编制	241
◆第九章	机务安装工程初步设计概算编制	●
第一节	概算定额	251
第二节	价格	261
第三节	工程量	265
第四节	概算的编制	270
第五节	概算编制实例	273



电力工程建设技术经济丛书

第一章 热力发电厂概述

第一节 热力发电厂的类型

热力发电厂是将燃料的化学能转化为热能，再将热能转化为机械能，最终将机械能转化为电能的工厂，也即将自然界的一次能源转化为洁净、方便的二次能源的工厂。电厂的类型大致可以做如下分类。

一、按供出产品分类

(一) 发电厂

只生产电能的工厂，即凝汽式发电厂。根据国家的能源政策，今后建设的发电厂单机容量必须在 125MW 以上。单机容量 50MW 及以下的现役常规火电机组将在 2003 年底以前逐步停止运行。个别机组关停确有困难的，关停时间可适当推迟，但必须经国家经贸委批准。对单机容量 100MW 的机组，国家正在研究有关停运的意见和措施。今后我国建设的常规火电厂，应全部采用容量为 125MW 及以上的高效、大容量的机组。我国发电厂的主力机组也将由目前的单机容量 300MW 逐步转移到 600MW。

国家鼓励综合利用煤矸石（发热量 12550kJ/kg 以下）、煤泥、石煤、垃圾等低热值燃料和利用余热、余压、生物质能、沼气、煤层气、高炉煤气等综合利用资源的发电工程，其单机容量不受限制。

(二) 热电厂

既向外供电也向外供热（热水、蒸汽）的工厂。根据国家计委、经贸委、原电力部等部委规定，建设热电厂应符合下列指标：

(1) 电厂总热效率年平均大于 45%，总热效率计算公式为

$$\text{总热效率} = [\text{供热量} + \text{供电量} \times 3600\text{kJ}/(\text{kWh})] / (\text{燃料总消耗量} \times \text{燃料单位低位热值}) \times 100\%$$

(2) 单机容量 50MW 以下的热电机组，其热电比年平均应大于 100%；

(3) 单机容量 50~200MW 以下的热电机组，其热电比年平均应大于 50%；

(4) 单机容量 200MW 及以上抽汽凝汽两用供热机组，在采暖期其热电比应大于 50%。

$$\text{热电比} = \text{供热量} / [\text{供电量} \times 3600\text{kJ}/(\text{kWh})] \times 100\%$$

为防止建设假热电工程，国家规定：投产 3 年后达不到上述规定指标的，经报请省级

综合经济部门核准，将按实际热负荷核减结算电量，对超发部分实行无偿调度。

二、按主要设备分类

(1) 常规火力发电厂。由常规煤粉炉、凝汽式汽轮发电机组为主要设备组建的发电厂，这是本册教材将介绍的主要内容。常规火力发电厂的生产过程和主要设备如图 1-1 所示。

它由以下主要系统组成：输煤系统——接受燃煤并向锅炉输送；热力系统——煤制成合格的细（粒）度在锅炉燃烧，并将合格的炉水烧成合格的蒸汽，推动汽轮机带动发电机发电；电气系统——将发出的电能升压以便远距离输送给用户，并提供可靠的厂用电；除灰系统——将煤燃烧后的灰、渣运出、堆放的系统；化学水处理系统——向热力系统提供并不断补充满足要求的热力系统循环工质——除盐水的系统；供水系统——向热力系统凝汽器提供冷却用循环水的系统。另外有监督和保证电厂安全运行的热工仪表及自动控制系统、附属生产系统。其他热力发电厂与常规电厂的区别主要在于热力系统不一样，当然也涉及到相关的燃料、除尘、化学、供水及热工控制系统。由于地球上现已探明储量的煤尚可用数百年，因此，常规燃煤电厂仍是今后建设电厂的主要形式之一。

(2) 燃气-蒸汽联合循环（GAS）发电厂。

(3) 整体煤气化燃气-蒸汽联合循环（IGCC）发电厂。

(4) 循环流化床锅炉（CFB）发电厂。

(5) 增压流化床燃烧联合循环（PFBC）发电厂。

(6) 原子能发电厂。

(7) 地热电站。

(8) 垃圾电站。

对于后面七种类型的热力发电厂，将在本章作简单介绍。

三、燃气-蒸汽联合循环发电厂

气体或液体燃料在燃机的燃烧室燃烧后进入燃气轮机（3~4 级）作功带动发电机发电，燃料燃烧所需空气由进气装置经过滤后，引入与燃气轮机同轴的压气机压缩升压，进入环绕燃气轮机主轴的十几个燃烧室参与燃烧，这就是单循环燃气轮机发电厂。由于此时的排烟温度高达 500~600℃，为回收热量，提高机组效率，同时也为减少热污染，在排烟道中增设余热锅炉，生产蒸汽，带动汽轮发电机组发电。这就是燃气-蒸汽联合循环发电厂。

燃气轮机由航空应用到首次改型用于地面发电，迄今已有 50 多年的历史，在这期间燃气轮机的性能得到了改善和提高，已被作为发电设备在世界各地广泛应用。根据美国电力发展规划，20 世纪 90 年代新增容量的 45% 采用燃气-蒸汽联合循环发电机组，到 21 世纪初，燃气-蒸汽联合循环发电装置总容量已超过常规火力发电厂，使这种新的发电装置在电力系统中占主导地位。美国 1990~2000 年新增发电容量中，17.7% 是燃气轮机单循环电厂，39.6% 是联合循环电厂，两者共占 57.3%。对机组功能的要求也从主要用于电网调峰，转而承担电网的基本负荷。据统计，国外目前已投运的燃气轮机发电厂已有 73.2% 容量用作电网的基本负荷。



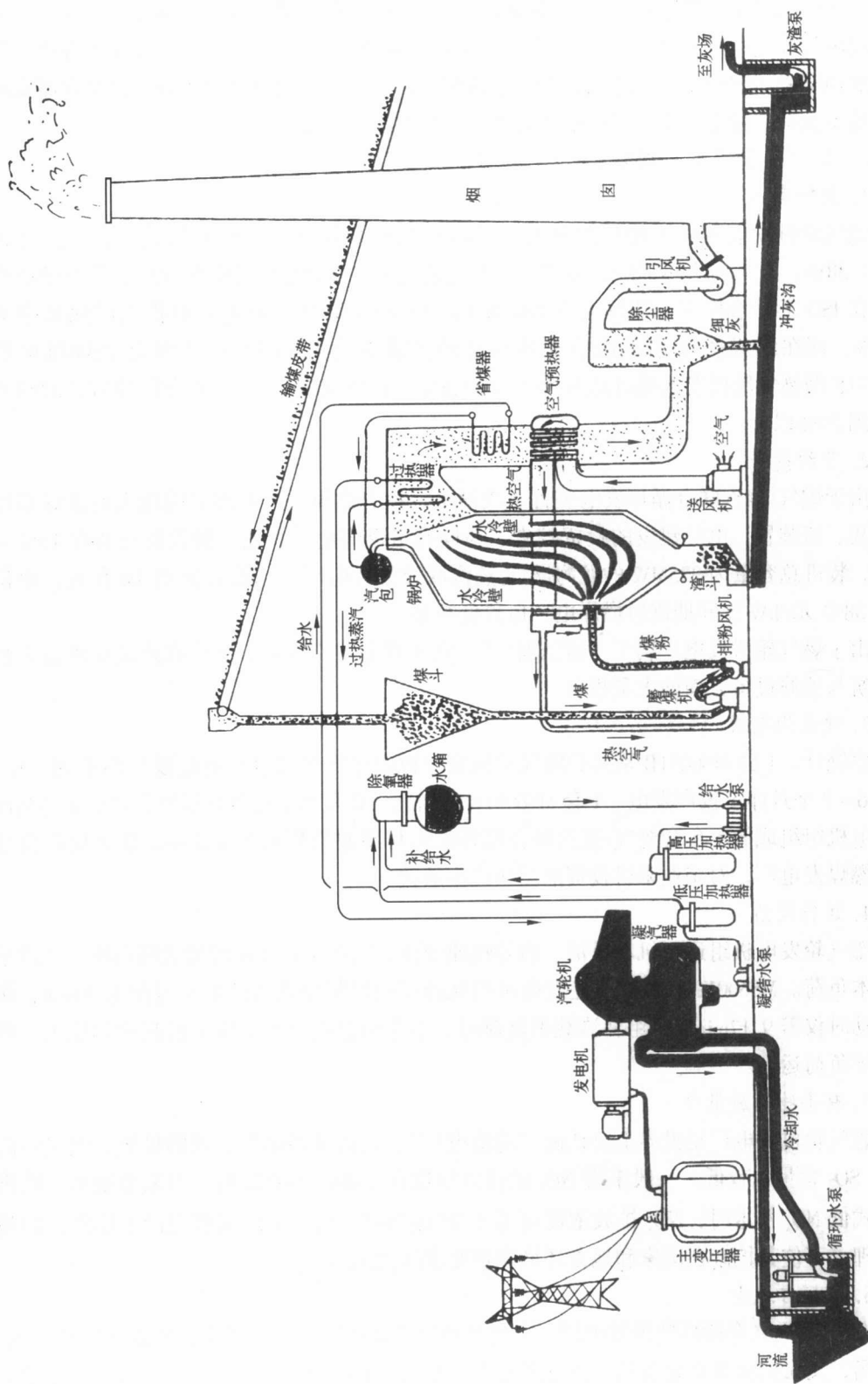


图 1-1 常规火力发电厂生产过程和主要设备

从 20 世纪 80 年代初开始,我国沿海一带,特别是在深圳、惠州以及海南、江苏、浙江等经济较发达地区,燃气-蒸汽联合循环发电机组发展很快,这些机组的投运为特区和沿海的经济发展起到了一定作用,缓解了这些地区用电高峰期缺电的矛盾,同时在需要时承担基本负荷,使生产发展受供电能力约束的影响大大下降。

(一) 燃气-蒸汽联合循环发电厂的特点

1. 热效率高

燃气轮机发电机组单循环的发电热效率接近高参数燃煤电厂的热效率,一般可达 30%~38%,在它与余热锅炉、蒸汽轮机发电机组组成联合循环发电装置后,其热效率更高。在 ISO 工况条件下,功率为 39160kW 的 PG6551B 型燃气轮机发电机组的热效率为 31.8%,而在组成燃气-蒸汽联合循环后总的热效率约为 48.7%;功率为 123400kW 的 PG9171E 型燃气轮机发电机组的热效率为 33.8%,在组成燃气-蒸汽联合循环后总的热效率达到 50%以上。

2. 节约投资

由于燃气-蒸汽联合循环发电装置系统简单,没有燃煤电厂所必须的庞大的输煤系统和除灰、渣装置,电厂建设的投资较省,与同容量燃煤电厂相比,初投资可节省 15%~40%。装机总容量为 335MW 的龙湾燃气-蒸汽联合循环电厂,结算造价 13.04 亿元,单位造价 3893 元/kW 比同期进口燃煤电厂造价低很多。

由于燃气轮机发电厂属于“清洁电厂”,宜于靠近中心城市,电厂在建设中可省去福利建筑与检修设备方面的大量投资。

3. 建设周期短

据统计,1 套 MS6001B 系列的燃气轮机发电机组单循环发电装置建设周期不到 1 年,快的 6~7 个月即可投产发电。1 套 MS6001B 系列燃气轮机加 1 台余热锅炉,再加 1 套蒸汽轮发电机组组成的 1 台套燃气-蒸汽联合循环发电机组建设周期约 1.5 年。建设周期明显短于燃煤发电厂,对企业来讲投资能尽快产生效益。

4. 运行灵活

燃气轮发电机组运行机动灵活、启停快速便捷,既适于昼开夜停带尖峰负荷,又适于带基本负荷。MS6001B 系列燃气轮发电机组从冷态到带额定负荷的起动时间为 16min,快速起动时仅需 9.17min。机组在满载甩负荷时,不会引起危及机组安全的超速和熄火,机组可零负荷运行。

5. 有害物排放量少

燃气轮机发电厂是世界上公认的“清洁电厂”,它既无固体灰、渣的排放,烟气中的 NO_x 、 SO_2 含量也较低。一般来讲 NO_x 的排放浓度在 $160\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右,当采用喷水、喷汽或干式低 NO_x 技术时, NO_x 排放浓度可低于 $25\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。这类电厂虽然也产生噪声,但易于治理,可使其控制在国家和地方环境保护要求的范围内。

6. 电厂占地少

燃气-蒸汽联合循环装置发电厂,主机是箱装模块结构,布局紧凑,它既无煤场,灰、渣堆场,又无需输煤系统及灰、渣分离和输送系统。对燃油电厂,仅需一套适当规模的油



库和供油管道,而对燃气电厂连贮气罐也可省去,这样整个电厂就可少占用土地。一般燃气-蒸汽联合循环发电厂单位发电功率的占地面积是常规燃煤电厂单位发电功率占地面积的 30%~40%。长庆西安天然气发电厂计划装机 2 台 121.3MW 的 MS9001E 系列燃机,2 台双压余热锅炉,1 台 134.4MW 的蒸汽轮发电机组,总装机容量为 377MW,全厂占地约 7.3hm²,单位占地 0.0194hm²/MW。已建成的燃用原油的龙湾电厂装机总容量 335MW,全厂占地 6.72hm²,单位占地 0.02hm²/MW。

7. 耗水量少

燃气-蒸汽联合循环中,燃气轮发电机组部分仅需少量的冷却水,只有蒸汽轮发电机组部分需用与同容量凝滞式汽轮发电机组等量的冷却水,而在联合循环发电厂中,蒸汽轮机发电机组容量仅为整个电厂容量的约 1/3,因此,燃气-蒸汽联合循环发电厂冷却水消耗量仅为同容量常规燃煤电厂的 30%左右。

8. 定员少

燃气-蒸汽联合循环发电厂是采用高科技的发电设备,机组配备的自控仪表水平高,安全可靠,为此它所要求的操作人员较少,但相应地它要求操作人员具有较高的素质。龙湾燃机电厂设计定员 108 人。

9. 高的可靠性与可用率

燃气轮发电机组具有很高的可靠率与可用率。据统计,可用率可达到 96.3%以上,可靠率可达到 98.6%以上。

10. 燃料的多样性

燃气轮机可燃用液体、气体多种不同燃料,并可在运行过程中切换。

11. 环境温度对出力影响较大

对重型燃机,随环境温度的升高,出力将有所下降,例如 MS6001B 型燃机在 15℃下为额定出力,40℃时将降低出力 15%。而汽轮机的出力是不受环境温度影响的。

12. 厂址海拔对出力影响大

在海拔 3000m 时,出力将降低 20%~25%,即同一台燃机安装在不同海拔的电厂时其出力是不同的。而汽轮机的出力基本不受海拔高度的影响。

由于燃气轮机出力受外界的影响较大,一般燃机所标定的出力是指 ISO 工况下的出力,每个工程的实际出力都与之有一定的功率修正的差值。ISO 工况下的出力是指:环境温度 15℃,相对湿度为 60%,海平面标高,燃用天然气,无进气、排气风道压力损失,不注水、也不注蒸汽(可增加出力及控制 NO_x 排放)时发电机端的功率。

13. 发电成本高

由于联合循环电厂的投资较低,人员少,建设周期短,因而发电成本中的折旧费、工资、财务费用都较常规火电厂低。但其燃用的油或气比煤要贵很多,因而发电成本较高。高多少取决于燃料价格。若气价按 1 元/m³ 计算,气耗一般为 0.2~0.25m³/(kWh),仅燃料费就达 0.2~0.25 元/(kWh),已超过一般燃煤电厂的全部成本。燃煤电厂若以 300MW 机组为例,供电标煤耗按 0.34kg/(kWh),标煤价按 160~200 元/t 计,燃料费约 0.06 元/(kWh),两者相差 3~4 倍。成本及电价是我们在项目可行性研究时必须认真考虑的问题。



题。

由于燃气轮机及联合循环发电具有上述特点，为改变我国能源结构比较单一的现状，预计今后燃气—蒸汽联合循环发电厂在我国将有一个较大规模的发展。但由于燃气轮机、余热锅炉等主要设备国内目前只生产 50MW 级的产品，大中型机组都要进口，这不利于民族工业的发展，也是国内发展联合循环电厂一个不小的障碍。引进技术、合作生产大中型机组设备，将会给联合循环电站的发展带来光明的前程。

(二) 燃气轮机

燃气轮机是联合循环电厂的核心设备。燃气-蒸汽联合循环发展 50 余年来，目前燃气轮机的单机净出力可达 334MW。燃机的初始工作温度高达 $900 \sim 1430^{\circ}\text{C}$ ，工作条件极差，但由于超高的制造工艺及结构，优质的材料，燃机的可靠性却是十分高的。据美国电力可靠性协会对过去 5 年中烧天然气的燃气-蒸汽联合循环电厂的统计，其平均利用率超过 95%。而同一时期的核电站为 66%，常规燃煤火电站为 79%。这也正是涉及千百万人生命安全的航空发动机广泛使用燃气轮机的缘故。据 GE 公司介绍，它们的燃机小修时间间隔为 8000h，中修 24000h，大修 48000h。从大小修间隔时间也可以看出其可靠性是比较高的。

燃气轮机主要由压气机、燃烧室和燃气轮机三大部分组成的整体，同置于大型钢架梁上，极便于专用车辆运输及到电厂现场安装。燃气轮机的内部结构如图 1-2、图 1-3 所示。

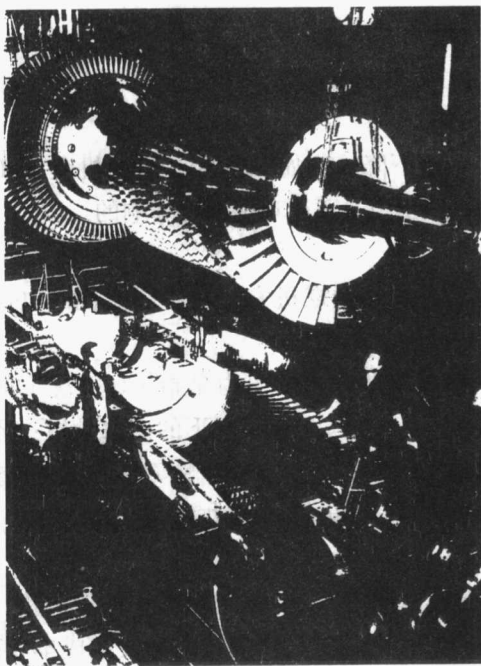


图 1-2 MS9001E 型燃气轮机转子及气缸

燃气轮机影响联合循环性能的关键特性是其比功率。比功率是燃气轮机每单位空气流量下所产生的功率 (kW1b/sec 压缩机空气流量)，联合循环的热效率随燃气轮机的比功率增大而增加。燃气轮机的燃烧温度是决定比功率的主要因素。联合循环热效率的改进是通过提高燃气轮机燃烧温度来实现的。而燃烧温度的提高依赖于耐高温、高强度材料、抗腐蚀涂层的开发和冷却技术的改进。联合循环的效率随燃气轮机技术的发展而提高。以前燃气轮机的初始温度长期在 $700 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ，效率不高。而现在的初始温度在 $1200 \sim 1430^{\circ}\text{C}$ 之间。如 GE 公司的 STAG 系列燃机初始燃烧温度为 1426°C ，其联合循环热效率达 58% ~ 60%，压气机的压缩比为 23。

燃气轮机燃用气体及液体燃料，如天然气、煤气、轻油、重油、原油、渣油等。以燃用天然气为最优，投资也最少，效率最高，出力最大。在 STAG 联合循环中，以烧天然气为基准，若改烧精炼油，净出力下降 3%，热效率下降 2.1%；若改燃渣油，净

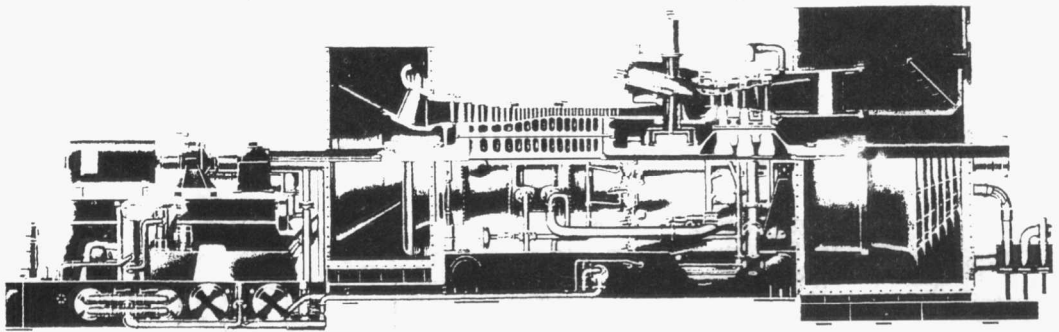


图 1-3 MS9001E 型燃气轮机纵剖面图

出力下降 9.3%，热效率下降 7.6%。

(三) 余热锅炉

余热锅炉是回收燃气轮机余热，提高燃气-蒸汽联合循环热效率，降低电厂单位造价的重要设备。通常，余热锅炉由省煤器、蒸发器、过热器等组成。

余热锅炉的水循环方式有强制循环和自然循环两种。强制循环方式的主要优点是：余热锅炉的高度可以设计得比较低，启动快而容易，有利于提高余热锅炉的效率。自然循环余热炉主要优点是不需设循环泵，运行可靠，厂用电耗低。

余热锅炉有采用补燃和无补燃的两种型式，采用补燃的目的是：增大整套联合循环装置的功率；在一定条件下也为了提高联合循环的效率。特别是在燃气轮机初始温度较低的情况下（如 800°C ），其排汽温度也较低（ $t = 395^{\circ}\text{C}$ ），若选择无补燃的余热锅炉，所匹配的汽轮机的进汽温度只能达到 365°C 左右，汽轮机的效率必然低，联合循环的效率只能达到 35% ~ 36%。若采用补燃技术，余热炉出口蒸汽温度可达到 $530 \sim 540^{\circ}\text{C}$ ，联合循环的效率可提高到 37% ~ 38%。但随着燃气轮机初始温度的提高，采用补燃技术除了能增大联合循环的功率外，提高效率的作用已经很少或没有，甚至会降低效率，故目前一般不采用补燃的余热锅炉。当为了提高联合循环机组的功率并在热用户负荷较大时，才有可能采用补燃型的余热锅炉。

在单压的余热锅炉中，仅能把排气终温度降至 $160 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 左右，为进一步降低排气终温度，充分利用余热，可采用“双压”或“三压”余热锅炉，使余热锅炉产生两种或三种压力的过热蒸汽供蒸汽轮机使用。这时余热炉的排气终温度可以降低到 $110 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 。如果燃用含硫量低的燃料，由于低温硫的腐蚀问题较轻，则可进一步降低到 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 。余热锅炉效率提高了，而余热锅炉、管道、蒸汽轮机等的基建费用当然也要增加。

为了进一步提高蒸汽轮机效率，余热锅炉也可以配合汽轮机采用再热循环的汽水系统。

双压、三压、再热汽水系统的选用原则如下：

当燃气轮机的排气流量大于 120kg/s ，排汽温度高于 510°C 时，可以采用双压或三压的汽水系统；当排气温度高于 538°C 后，可以采用有再热循环的汽水系统；当排气温度高于 593°C 时，就可以考虑采用三压有再热循环的汽水系统。选择不同的循环方式其性能差异

见图 1-4 及表 1-1。

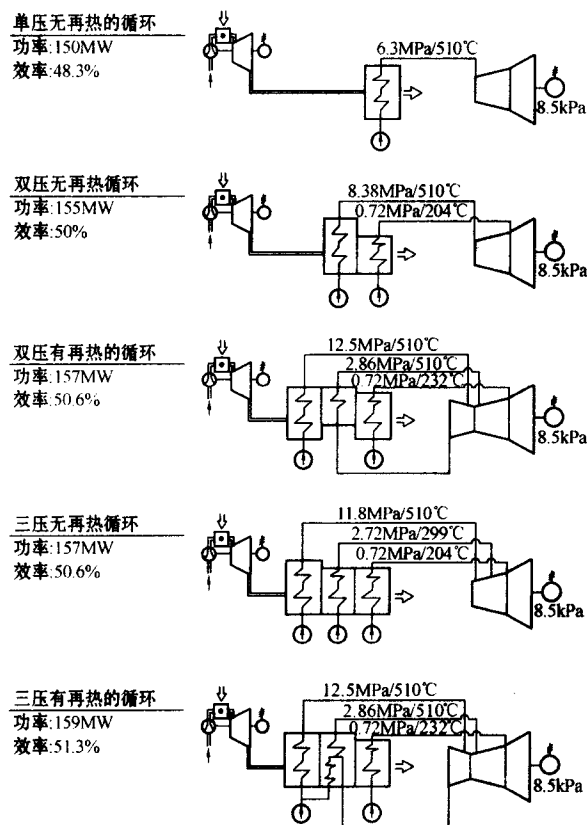


图 1-4 V84.2 燃气轮机组成的五种联合循环过程及机组性能指标

表 1-1 蒸汽循环的性能差异表

	蒸汽循环	电厂净出力 (%)	电厂净热耗率 (%)
STAG 207EA	三压、再热	0.7	0.7
	三压、无再热	基准	基准
	双压、无再热	-1.0	-1.0
	单压、无再热	-4.7	-4.7
STAG 107FA	三压、再热	基准	基准
	双压、再热	-1.1	-1.1
	三压、无再热	-1.2	-1.2
	双压、无再热	-2.0	-2.0

余热锅炉的主蒸汽出口温度一般要比燃气轮机的排汽温度低 20~40℃，蒸汽压力可根据汽轮机的要求选用。中压蒸汽及低压蒸汽的出口温度则比它们各自在余热锅炉中上游方向的燃气温度低 11℃左右。

余热锅炉的受热面都采用鳍片管，为了便于制造和安装，均采用模块结构，见图 1-5、

