

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



ZIDONGHUA ZHUANYE GAILUN

# 自动化专业 概论

韩 璞 王建国 编著



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

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



ZIDONGHUA ZHUANYE GAILUN

# 自动化专业 概论

编著 韩璞 王建国  
主审 吴惕华



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”规划教材。

本书是自动化专业学生的入门书，书中以电力行业为背景，通过对火电厂生产过程及其自动化的论述，使学生更进一步地了解自动化专业的内涵。书中着重论述了自动控制系统的组成原理、自动化领域的主要内容、自动化技术的应用领域，涵盖了自动化纵横、上下、内外各个方面的问题；对自动化专业的培养方案、自动化专业学生的学习与就业也做了详细的论述。

本书可作为各高等院校自动化专业的本科教材，也可作为高职高专和函授的相关教材，同时可作为对自动化专业知识感兴趣的读者的参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

自动化专业概论/韩璞, 王建国编著. —北京: 中国电力出版社, 2007. 1

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5052 - 3

I. 自... II. ①韩... ②王... III. 自动化技术—高等学校—教材 IV. TP2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 163022 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.25 印张 224 千字

印数 0001—3000 册 定价 15.00 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)

# 前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

当我们结束中学时代,怀着渴望求知的心情踏入大学校门时,我们总会想到这样一些问题:我们的专业学什么,将来毕业后干什么,在大学里怎样才能学习好,我们专业在学科里处于什么样的位置,等等。“自动化专业概论”这门课就是为解答这些问题而开设的。通过对这门课程的学习,会使学生的学习目的性更明确、学习更主动,并取得更优异的成绩,早日成为国家建设的栋梁之材。

自动化的由来已久,它是随着人类社会的发展而发展的。在古代人类就试图用装置来代替人的劳动,只是到了20世纪,才有了自动化学科、有了控制论。特别是20世纪80年代微型计算机的出现,使得自动化技术渗透到人类社会的每一个角落,在工业、农业、军事、交通、商业、医疗、服务以及家庭等方面,自动化都扮演着重要的角色。由于自动化所涉及的学科和应用领域之广,在有些发达国家的大学里,已不单设自动化专业,而是把它含在其他学科里。

根据我国的国情以及我国的教育体制,我们国家专门设置了自动化专业,到目前为止,我国有自动化本科专业的高校近250所。但是,许多学校的自动化专业又都有自己的行业背景。进入20世纪80年代以来,为适应国民经济建设和科学技术发展的需要,进一步拓宽专业口径,各高校的自动化系将原有的多个自动化类专业,诸如自动控制、生产过程自动化、工业电气自动化、化工自动化、热工测量及其自动化等合并为新的工业自动化专业和自动控制专业。1998年,为适应国家经济建设对宽口径高等教育人才培养的需要,又进一步合并为一个自动化专业。

华北电力大学和东北电力大学都是面向电力行业的院校,所培养的学生大多数毕业后服务于电力系统。这是两所非常具有行业特色的学校,特别是其自动化专业的学生毕业后都主要从事与电力生产自动化密切相关的工作。因此,笔者依托电力行业背景撰写此书,力求使有电力行业背景的自动化专业的学生,能通过本书容易而快速地熟悉电力生产过程自动化以及自动化专业。

本书不仅是自动化专业学生的入门书,也是高年级选择专业课时参考书。通过本书也能对所学课程、对该课程与其他课程之间的关系有一个概括的了解。

本书是在华北电力大学韩璞教授和东北电力大学王建国教授讲授多年的讲稿基础上修改完成的。本书的第一、二、三、四章由韩璞教授编写,第五、六、七章由王建国教授编写。由韩璞教授任全书统稿,由河北省科学院吴惕华教授任主审。

吴惕华教授在审稿过程中,花费了大量的精力,逐字逐句地阅读了本书,提出了许多宝

贵的修改意见和建议，甚至对某些句子和章节直接进行了修改，使笔者受益非浅，在此向吴教授致以诚挚的谢意。

在本书的编写过程中，华北电力大学的黄宇助教做了大量的文献收集和整理工作，在此表示衷心的感谢。本书部分内容引用了国内外专家、学者的论文和著作，在书的参考文献中都已列出，在此谨向他们致以诚挚的谢意。

由于不同行业背景的人士对自动化的概念有不同的认识，加之作者水平有限，论述方面可能有片面性，错误之处诚望读者指正。

通信地址：hanpu102@263.net、wjg01@mail.jl.cn。

**韩璞、王建国**

2006年9月

## 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 自动化与自动控制 .....	1
第二节 自动化专业的历史沿革 .....	1
第三节 一些名词和术语 .....	4
<b>第二章 火电厂生产过程自动化</b> .....	6
第一节 火力发电厂的构成及其工作原理 .....	6
第二节 火力发电厂生产过程所需要的控制 .....	11
<b>第三章 自动控制系统的组成原理</b> .....	15
第一节 自动控制系统的组成 .....	15
第二节 自动控制系统的性能要求 .....	16
第三节 自动控制系统的分类 .....	18
第四节 自动控制系统的典型控制策略 .....	23
<b>第四章 自动化领域的主要内容</b> .....	47
第一节 控制理论与方法研究 .....	47
第二节 控制设备与装置的研发与生产 .....	63
第三节 信息与管理 .....	72
第四节 系统的集成与应用 .....	81
<b>第五章 自动化技术的应用领域</b> .....	84
第一节 工业自动化 .....	84
第二节 军事自动化 .....	97
第三节 建筑自动化 .....	106
第四节 交通运输自动化 .....	110
第五节 信息自动化 .....	114
第六节 家庭自动化 .....	116
第七节 其他领域自动化 .....	118
<b>第六章 自动化专业的培养方案</b> .....	125
第一节 形势与挑战 .....	125
第二节 培养目标 .....	125
第三节 培养方案的体系构架 .....	126

第四节	培养环节设置 .....	130
第五节	自动化专业主干课程拓扑图 .....	131
<b>第七章</b>	<b>自动化专业学生的学习与就业</b> .....	<b>132</b>
第一节	自动化专业学生的学习观 .....	132
第二节	影响学习的因素分析 .....	134
第三节	学好理论课 .....	135
第四节	高度重视教学实践环节 .....	136
第五节	自动化专业大学生的就业观念与方向 .....	137
<b>参考文献</b>	.....	<b>140</b>

## 第一章 绪 论

### 第一节 自动化与自动控制

在远古时代,人类就用石器作为工具进行生产活动,以减轻自己的劳动强度。但这些石器并没有使人类进入自动化,因为人们必须用这些工具自己去完成所要做的工作。但从那时起,人类试图用一种工具或一种装置来自动完成人类自身的工作的愿望已经出现。因此,古代人类利用自己在长期的生产和生活中积累的经验 and 知识,逐渐利用自然界的动力(风力、水力等)来代替人力、畜力,以及用装置代替人的脑力活动和对自然界的控制。

人类研制和使用最早的自动装置是自动计时装置——刻漏,它是由中国和巴比伦人发明的。几千年来,中国人民在自动化方面有过卓越的贡献。在中国的三国时期,使用了自动指示方向的指南车。北宋时期我国又发明了水运仪象台。

公元1世纪古埃及和希腊的发明家也创造了教堂庙门自动开启、铜祭司自动洒圣水、投币式圣水箱等自动化装置。

近代的自动装置更是数不胜数。如用于抽水灌溉的风车是利用自然风推动风车转动,从而达到抽水的目的。1642年法国物理学家发明了加法器;1657年荷兰机师发明了钟表;俄国机械师在1765年发明了蒸汽锅炉水位保持恒定用的浮子式阀门水位调节器;我们现在使用的抽水马桶就是一种浮子式保持水箱水位的自动装置。

由此看来,自动化是伴随人类社会的发展而发展的,人类文明越进步,自动化程度就越高,自动化已成为衡量人类文明进步程度的重要标志。

现在我们可以给自动化的基本概念作一描述:自动化是指机器或装置在无人干预的情况下按规定的程序或指令自动地进行操作或运行。

自动化技术的应用是非常广泛的,几乎渗透人类社会的每一个角落,在工业、农业、军事、交通、商业、医疗、服务以及家庭等方面,自动化都扮演着重要的角色。自动化不仅可以把人从繁重的体力劳动以及恶劣、危险的工作环境中解放出来,而且能充分调动人的潜在能力,使人类能更好地认识世界和改造世界,从而能推动人类文明的快速发展。

与自动化密切相关的一个术语是自动控制,两者既有联系,又有一定的区别。自动控制是通过人造装置或人类为了约束自己的行为而制定的政策和法规来对人造系统和非人造系统进行控制,从而达到人所期望的目标。而自动化仅仅是按预先给定的程序或指令完成某种操作,对于社会、经济、生物、环境等非人造系统的控制问题则不属于其研究范畴。不过,由于人们提到的自动控制常指工程系统的控制,所以人们习以为常地将自动控制与自动化视为同义。

### 第二节 自动化专业的历史沿革

自动化的概念起源于最早的自动控制,而自动控制的起源可以追溯到公元前。但是,到



了 20 世纪 40 年代,才有了控制论,以后才逐渐形成了自动化学科。20 世纪初叶的 Lyapunov 稳定理论、PID 控制律概念、反馈放大器、Nyquist 与 Bode 图等是控制论的理论基础。1948 年麻省理工学院维纳(N. Wiener)教授发表了《控制论》著作,标志着控制理论的形成。1954 年,钱学森教授的著作《工程控制论》(Engineering Cybernetics)在美国问世,并于 1958 年在国内出版,这标志着我国科学家为控制理论的形成做出了重要的贡献。

对自动化的大量需求开始于工业革命时期。应用自动控制的方法来代替人工控制各种机械设备,使其能在无人的情况下连续不断地工作,并能使其更有效、安全地运行。

电力生产工业是应用自动化技术最早的领域,也是最需要先进自动化技术的领域,因为电力生产是一个极其复杂的过程,而且需要长期经济、安全地运行。

人类对电力的需要已毋庸置疑,人类对电的依赖已超出我们的想象。21 世纪伊始,美国工程院联合 30 多家美国工程协会,历时半年时间,评出的 20 世纪对人类社会生活影响最大的 20 项工程技术成果中,电力工程名列榜首。其原因是电气化对人类的生活,乃至人类的文明进步都产生了根本性影响。我们不能想象如果没有电我们现在的世界将来是什么样子。在 20 世纪,人们为了缅怀电灯的发明者伟大的发明家爱迪生,想在他的百年诞辰之际,在全世界范围内停电 3min,但考虑到停电 3min 所带来的影响实在无法估量,最终还是没有这样做。

由此可见,电对人类是多么重要,没有电,根本谈不上现代社会的自动化。因此,发展电力事业已是各国发展国民经济的先行军。1875 年,法国巴黎建成了世界上第一座火力发电厂,与世界有电的历史几乎同步。1879 年,中国上海公共租界点亮了第一盏电灯,随后又创办了中国第一家电业公司。那时对电厂发电过程的控制是完全手动的,但已有了对需要监视的参数进行测量的装置。

发电厂是应用自动控制技术最早的工业领域,它一直跟随着自动控制技术的发展而发展。最早对发电厂的控制是“行走式”,要想控制哪一个阀门必须走到这个阀门前用手去操作。20 世纪初,出现了“伺服机构”,即我们所说的执行器。有了执行器,就可以通过电信号来驱动阀门的开启和关闭。“PID 控制律”的出现,又使我们有了“调节器”。调节器可以根据被控制变量与该变量的希望值的偏差给出一个电流量的控制信号,这个信号输入给执行器,去控制阀门。至此,形成了一个完整的自动控制系统。发电厂首先使用了这种自动控制系统。与 60 年前相比,控制论和自动化技术的应用已发生了天翻地覆的变化。而电力生产跟随着这些理论与技术的发展而发展,它是应用自动化技术最有代表性的行业,它能代表过程自动化的发展水平。高等院校里,也先在电力类院系设置了自动化专业。

现在,自动控制技术已广泛应用到制造业、农业、交通、服务业、航空、航天等所有产业部门。在制造业中,从计算机辅助设计与制造,数控机床,到柔性加工系统和计算机集成制造系统以及机器人的广泛进入生产线,成十倍、百倍地提高了社会的劳动生产率,增强了脑力劳动创新能力,丰富了产品的多样性,改善了人们的劳动条件,提高了经济效益和人们的生活水平。

在今天的社会生活中,自动化装置无所不在。通信、金融业已接近全面自动化;医疗器械和仪器的自动化程度日益提高;自动化装置已广泛进入家庭,成为家庭生活必不可少的装备。近半个世纪以来,控制论与自动化技术为人类文明进步做出了重要贡献。

在大学里为大学生开设自动控制课程始于 20 世纪 40 年代初,首先是西欧和前苏联开始

为大学生和研究生开设自动控制课程,我国也开始为大学生和研究生讲授伺服机构原理课程。此后,在高等院校电机系开始逐步设置了工业企业电气化专业(自动化专业的前身)。该专业的课程设置中,有自动调节理论课程,相当于现在的自动控制理论课程。当时,类似课程在电类其他专业的教学计划中也都有,如在电气工程及其自动化专业的教学计划中设置有电力系统自动化课程以及电力系统远动学(即远距离测量和控制学)课程。早期使用的教科书代表作有《自动调整理论基础》(前苏联阿·伏龙诺夫著,徐俊荣等译,电力工业出版社,1957),《自动调整原理,第一~三分册》(前苏联B.B.索洛多夫尼柯夫主编,王众诤译,水利电力出版社,1957~1959),《随动系统》(陈辉堂编,人民教育出版社,1958),《自动调节理论基础》(刘豹编,上海科技出版社,1963)。

我国从1956年起,在清华大学、西安交通大学等一批重点高等院校逐步建立了自动控制专业(开始时按前苏联称自动学与远动学专业),华北电力大学(原北京电力学院)从1958年建校起就建立了热工测量及其自动化专业,东北电力大学(原吉林电力学院)也是在1956年就成立了热工测量及其自动化专业,其目的是培养火电厂热工过程控制方面的人才。哈尔滨工业大学除工业企业电气化专业外还建立了自动学、远动学与测量仪表专业,侧重于培养仪器仪表制造方面的人才。1958年在清华大学等一批重点高等院校先后建立自动控制系统或行业自动控制系统(例如航空自动控制系统等),同时中国科学技术大学率先成立自动化系。1970年以后,根据自动化科学技术及其高等教育的发展需要,清华大学等一批重点高等院校将自动控制系统改名为自动化系。

进入20世纪80年代以来,为适应国民经济建设和科学技术发展的需要,进一步拓宽专业口径,各高校的自动化系先后将原有的多个自动化类专业(如自动控制、生产过程自动化、工业电气自动化、检测技术与自动化仪表、热工测量及其自动化等专业)合并为新的工业自动化专业和自动控制专业。1998年,为适应国家经济建设对宽口径高等教育人才培养的需要,又进一步合并为一个自动化专业。

专科层次的自动化类专业是我国专科教育中的老牌专业,自从设置专科学校以来,就有了该层次的专科专业,其经历了比较长的发展历史。在工科类高等专科学校中一般均设置有该专业,近几年来新成立的职业技术学院,使该专业在招生数量上得到快速发展。

文化大革命以前,我国自动化学科研究生教育规模很小,20世纪50年代曾举办过研究生班,部分学生和教师公派去前苏联学习攻读研究生学位。全国各高等学校选派教师集中在哈尔滨工业大学成为工业企业电气化专业第一批研究生(1951~1954年)或进修教师。1978年恢复招生,迎来了研究生教育的春天,1982年颁布了《中华人民共和国学位法》;1984年全国试办33所研究生院,自动化学科研究生专业首先在一批工科类重点大学招生和培养。

由于自动化所涉及的学科领域广泛,在有些发达国家的大学里并不单设自动化专业,而是把它含在其他学科里。根据我国的国情以及我国的教育体制,我们国家专门设置了自动化本科专业和控制科学与工程研究生专业。

控制科学与工程是20世纪最重要的科学理论和成就之一,也是一门研究控制的理论、方法、技术及其工程应用的学科,是自动控制与自动化技术的统称。控制科学以控制论、信息论、系统论为基础,研究各领域内独立于具体对象的共性问题,即为了实现某些目标,应如何描述与分析对象与环境信息,采取何种控制与决策行为。它对于各具体应用领域具有一

般方法论的意义，而与各领域具体问题的结合，又形成了控制工程丰富多样的内容。本学科的这一特点，使它对相关学科的发展起到了有力的推动作用，并在学科交叉与渗透中表现出突出的活力。

控制科学与工程一级学科下设五个二级学科，即五个研究生专业。

(1) 控制理论与控制工程：以工程领域内的控制系统为主要对象，以数学方法和计算机技术为主要工具，研究各种控制策略及控制系统的建模、分析、综合、设计和实现的理论、技术和方法。

(2) 检测技术与自动化装置：是研究被控对象的信息提取、转换、传递与处理的理论、方法和技术的一门学科。它的主要研究领域包括新的检测理论和方法、新型传感器、自动化仪表和自动检测系统以及它们的集成化、智能化和可靠性技术。

(3) 系统工程：是为了解决日益复杂的社会实践问题而形成的从整体出发合理组织、控制和管理各类系统的综合性的工程技术学科，它以工业、农业、交通、军事、资源、环境、经济、社会等领域中的各种复杂系统为主要研究对象，以系统科学、控制科学、信息科学和应用数学为理论基础，以计算机技术为基本工具，以优化为主要目的，采用定量分析为主、定性定量相结合的综合集成方法，研究解决带有一般性的系统分析、设计、控制和管理问题。

(4) 模式识别与智能系统：主要研究信息的采集、处理与特征提取，模式识别与分析，人工智能以及智能系统的设计。它的研究领域包括信号处理与分析、模式识别、图像处理与计算机视觉、智能控制与智能机器人、智能信息处理以及认知、自组织与学习理论等。

(5) 导航、制导与控制：是以数学、力学、控制理论与工程、信息科学与技术、系统科学、计算机技术、传感与测量技术、建模与仿真技术为基础的综合应用性技术学科。它研究航空、航天、航海、陆行各类运动体的位置、方向、轨迹、姿态的检测、控制及其仿真，是国防武器系统和民用运输系统的重要核心技术之一。

### 第三节 一些名词和术语

本节简要地介绍自动化专业的学生在今后学习本专业课程时遇到的一些重要的名词和术语。

#### 一、系统

系统(System)是指由相互关联、相互制约、相互影响的一些部分组成的具有某种功能的有机整体。系统可以由实物组成，也可以由非实物组成。例如，我们每天使用的输电系统就是由实物组成的一个系统；人们为了规范自己的行为制定的各种法律法规就是由非实物组成的法律系统；而如果为了执行这些法律，必须有执法机构，这样构成的系统既有实物又有非实物。系统可大可小，如果构成系统的组成部分本身也是系统，则称其为子系统。对于一个具体的系统，系统以外的部分称为系统环境，系统与系统环境的分界称为系统边界。系统环境对系统的作用称为系统输入，系统对系统环境的作用称为系统输出。

随着科学技术的发展，现在我们所研究的系统越来越大、越来越复杂。例如，我们研究的生物进化、生态环境、输电网络等都是大系统、复杂系统。目前，已有研究大系统和复杂系统的学科——系统工程。

## 二、信息

信息 (Information) 是指符号、信号或消息所包含的内容, 是对事物运动状态或存在形式的不确定性的描述。信息普遍存在于自然界、人类社会和人的思维之中。在 1948 年, 控制论的创始人维纳在他的著作《控制论》中指出: “信息是信息, 不是物质, 也不是能量”, 这样就把信息上升到与物质、能量同等重要的地位, 成为当今物质世界组成的三大支柱。今天, 为了更好地利用信息, 把信息已经数字化, 可以利用计算机对数字化信息进行加工处理, 这样的信息称为数字信息。

## 三、控制

控制 (Control) 是指为了改善系统的性能或达到特定的目的, 通过信息的采集和加工而施加到系统的作用。系统可分为可控系统和不可控系统两大类, 前者是指可以通过人为的方法对系统进行干预和控制, 而后者是指人无法对系统进行干预和控制。

## 四、数学模型

通常我们对系统的理解是能够根据实际过程分析出系统的作用原理及大致的运动过程。但仅有这种定性分析是不够的。在对系统进行分析、设计与控制时, 必须要对系统进行定量的分析, 研究出系统中各物理量的变化及相互作用、相互制约的关系。我们可以用数学表达式来描述这些物理量的变化及它们的关系, 而把这种数学表达式称为系统的数学模型。选择系统数学模型的过程就称为系统建模。

描述系统的数学模型种类很多, 常用的有状态空间、微分方程、差分方程、脉冲响应、传递函数、频率响应模型等。

## 五、传递函数

控制系统的微分方程, 是在时域描述系统动态性能的数学模型。当给定零初始条件及一个外作用时, 求解微分方程可以得到系统的输出响应。我们定义此时的系统输出的拉氏变换与系统输入的拉氏变换之比为系统的传递函数。

传递函数是复变量函数, 它在频域描述系统的动态特性。经典控制理论就是建立在传递函数基础之上的。

## 六、科学

科学 (Science) 是指对各种事实和现象进行观察、分类、归纳、演绎、分析、推理、计算和实验, 从而发现规律, 并对各种定量规律予以验证和公式化的知识体系。科学的任务是揭示事物发展的客观规律, 探求真理, 作为人们改造世界的指南。科学又分为自然科学和社会科学。自然科学研究的是物质世界, 社会科学研究的是人类的精神世界。

## 七、技术

技术 (Technology) 是指人类根据生产实践经验和自然科学原理改变或控制其环境的手段和活动, 是人类活动的一个专门领域。技术的任务是利用和改造自然, 以其生产的产品为人类服务。

## 八、工程

工程 (Engineering) 是指应用科学知识使自然资源最好地为人类服务的一项活动。科学和技术都存在于工程之中。

## 第二章 火电厂生产过程自动化

由于人类对电能的需要，电力工业的发展速度是相当惊人的。为了节能和降耗，现在普遍采用大容量、高参数机组，因此对机组的控制要求越来越高，发电厂可以代表过程自动化的发展水平。

大型火力发电厂是典型的过程控制对象，它是由锅炉、汽轮发电机组和辅助设备组成的庞大的设备群。由于其工艺流程复杂，设备众多，管道纵横交错，有上千个参数需要监视、操作或控制，没有先进的自动化设备和控制系统要正常运行是不可能的；而且电能生产还要求高度的安全性和经济性，尤其是大型骨干机组，这方面的要求更为突出。因此，大型机组的自动化水平受到特别的重视。本章将以大型单元机组为控制对象，讨论其所需控制系统。在讨论之前，我们简要介绍火力发电厂的构成及其工作原理。

### 第一节 火力发电厂的构成及其工作原理

#### 一、火电厂的基本生产过程

图 2-1 是大型单元机组火电厂的生产流程示意图，可以看出它是以锅炉，高压和中、低压汽轮机，泵与风机和发电机为主体设备的一个整体。它们通过管道或线路相连构成生产主系统，即燃烧系统、汽水系统和电气系统。其生产过程简介如下。

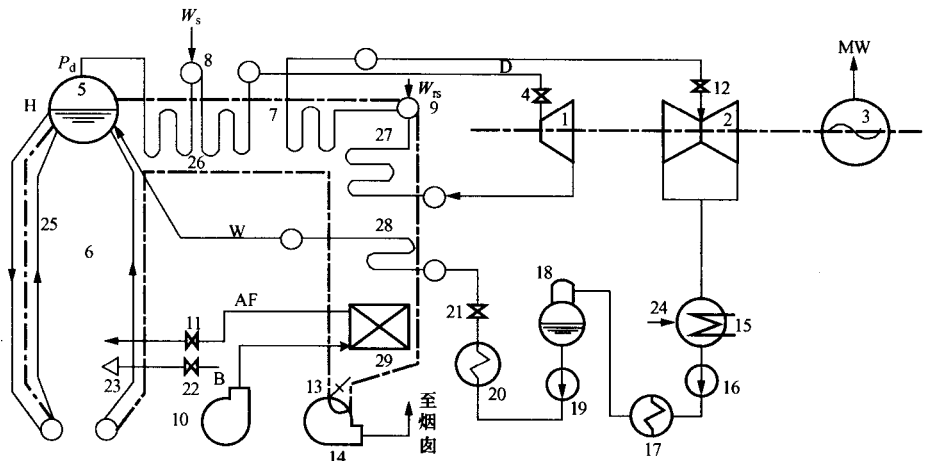


图 2-1 大型单元机组火电厂生产流程示意图

- 1—汽轮机高压缸；2—汽轮机中、低压缸；3—发电机；4—高压汽轮机调门；5—汽包；6—炉膛；
- 7—烟道；8—过热器喷水减温器；9—再热器喷水减温器；10—送风机；11—调风门；
- 12—中、低压汽轮机调汽门；13—烟道挡板；14—引风机；15—冷凝器；16—凝结水泵；
- 17—低压加热器；18—除氧器；19—给水泵；20—高压加热器；21—给水调节机构；
- 22—燃料量控制机构；23—喷燃器；24—补充水；25—水冷壁管；
- 26—过热器；27—再热器；28—省煤器；29—空气预热器

### （一）燃烧系统

燃烧系统包括锅炉的燃烧部分和输煤、除灰和烟气排放系统等。煤由皮带输送到锅炉车间的煤斗，进入磨煤机磨成煤粉，然后与经过预热器预热的空气一起喷入炉内燃烧，将煤的化学能转换成热能，烟气经除尘器清除灰分后，由引风机抽出，经高大的烟囱排入大气。炉渣和除尘器下部的细灰由灰渣泵排至灰场。

### （二）汽水系统

汽水系统包括锅炉、汽轮机、凝汽器及给水泵等组成的汽水循环和水处理系统、冷却水系统等。

水在锅炉中加热后蒸发成蒸汽，经过热器进一步加热，成为具有规定压力和温度的过热蒸汽，然后经过管道送入汽轮机。

在汽轮机中，蒸汽不断膨胀，高速流动，冲击汽轮机的转子，以额定转速（3000r/min）旋转，将热能转换成机械能，带动与汽轮机同轴的发电机发电。

在膨胀过程中，蒸汽的压力和温度不断降低。蒸汽做功后从汽轮机下部排出。排出的蒸汽称为乏汽，它排入凝汽器。在凝汽器中，汽轮机的乏汽被冷却水冷却，凝结成水。

凝汽器下部所凝结的水由凝结水泵升压后进入低压加热器和除氧器，提高水温并除去水中的氧（以防止腐蚀炉管等），再由给水泵进一步升压，然后进入高压加热器，回到锅炉，完成水——蒸汽——水的循环。给水泵以后的凝结水称为给水。

汽水系统中的蒸汽和凝结水在循环过程中总有一些损失，因此必须不断向给水系统补充经过化学处理的水。补给水进入除氧器，同凝结水一块由给水泵打入锅炉。

### （三）电气系统

电气系统包括发电机、励磁系统、厂用电系统和升压变电站等。

发电机的机端电压和电流随其容量不同而变化，其电压一般在10~20kV之间，电流可达数千安至二十千安。因此，发电机发出的电，一般由主变压器升高电压后，经变电站高压电气设备和输电线路送往电网。极少部分电，通过厂用变压器降低电压后，经厂用电配电装置和电缆供厂内风机、水泵等各种辅助设备和照明等用电。

## 二、锅炉的构成及其工作原理

锅炉是利用燃料或其他能源的热能把水加热成为热水或蒸汽的机械设备。锅炉包括锅和炉两大部分，锅的原义是指在火上加热的盛水容器，炉是指燃烧燃料的场所。锅炉中产生的热水或蒸汽可直接为生产和生活提供所需要的热能，也可通过蒸汽动力装置转换为机械能，或再通过发电机将机械能转换为电能。

### （一）锅炉的结构

锅炉整体的结构包括锅炉本体和辅助设备两大部分。锅炉中的炉膛、锅筒、燃烧器、水冷壁、过热器、省煤器、空气预热器、构架和炉墙等主要部件构成生产蒸汽的核心部分，称为锅炉本体。锅炉本体中两个最主要的部件是炉膛和锅筒。

炉膛又称燃烧室，是供燃料燃烧的空间。将固体燃料放在炉排上，进行火床燃烧的炉膛称为层燃炉，又称火床炉；将液体、气体或磨成粉状的固体燃料，喷入火室燃烧的炉膛称为室燃炉，又称火室炉；空气将煤粒托起使其呈沸腾状态燃烧，并适于燃烧劣质燃料的炉膛称为沸腾炉，又称流化床炉；利用空气流使煤粒高速旋转，并强烈火燃烧的圆筒形炉膛称为旋风炉。

炉膛的横截面一般为正方形或矩形。燃料在炉膛内燃烧形成火焰和高温烟气，所以炉膛

四周的炉墙由耐高温材料和保温材料构成。在炉墙的内表面上常敷设水冷壁管，它既保护炉墙不致烧坏，又吸收火焰和高温烟气的大量辐射热。

炉膛设计需要充分考虑使用燃料的特性。每台锅炉应尽量燃用原设计的燃料。燃用特性差别较大的燃料时，锅炉运行的经济性和可靠性都可能降低。

锅筒是指在自然循环和多次强制循环锅炉中接受省煤器来的给水、连接循环回路，并向过热器输送饱和蒸汽的圆筒形容器。锅筒体由优质厚钢板制成，是锅炉中最重的部件之一。

锅筒的主要功能是储水，进行汽水分离，在运行中排除锅水中的盐水和泥渣，避免含有高浓度盐分和杂质的锅水随蒸汽进入过热器和汽轮机中。

锅筒内部装置包括汽水分离和蒸汽清洗装置、给水分配管、排污和加药设备等。其中汽水分离装置的作用是将水冷壁来的饱和蒸汽与水分离开来，并尽量减少蒸汽中携带的细小水滴。中、低压锅炉常用挡板和缝隙挡板作为粗分离元件；中压以上的锅炉除广泛采用多种型式的旋风分离器进行粗分离外，还用百叶窗、钢丝网或均汽板等进行进一步分离。锅筒上还装有水位表、安全阀等监测和保护设施。

为了考核性能和改进设计，锅炉常要经过热平衡试验。直接从有效利用能量来计算锅炉热效率的方法叫正平衡，从各种热损失来反算效率的方法叫反平衡。考虑锅炉房的实际效益时，不仅要看锅炉热效率，还要计及锅炉辅机所消耗的能量。

单位质量或单位容积的燃料完全燃烧时，按化学反应计算出的空气需求量称为理论空气量。为了使燃料在炉膛内有更多的机会与氧气接触而燃烧，实际送入炉内的空气量总要大于理论空气量。虽然多送入空气可以减少不完全燃烧热损失，但排烟热损失会增大，还会加剧硫氧化物腐蚀和氮氧化物生成。因此应设法改进燃烧技术，争取以尽量小的过量空气系数使炉膛内燃烧完全。

锅炉烟气中所含粉尘（包括飞灰和炭黑）、硫和氮的氧化物都是污染大气的物质，未经净化时其排放指标可达到环境保护规定指标的几倍到数十倍。控制这些物质排放的措施有燃烧前处理、改进燃烧技术、除尘、脱硫和脱硝等。借助高烟囱只能降低烟囱附近地区大气中污染物的浓度。

烟气除尘所使用的作用力有重力、离心力、惯性力、附着力以及声波、静电等。对粗颗粒一般采用重力沉降和惯性力的分离，在较高容量下常采用离心力分离除尘静电除尘器和布袋过滤器具有较高的除尘效率。湿式和文氏水膜除尘器中水滴水膜能粘附飞灰，除尘效率很高，还能吸收气态污染物。

20世纪50年代以来，人们努力发展灰渣综合利用，化害为利。如用灰渣制造水泥、砖和混凝土骨料等建筑材料。70年代起又从粉煤灰中提取空心微珠，作为耐火保温等材料。

锅炉未来的发展，将进一步提高锅炉和电站热效率、降低锅炉和电站的单位功率的设备造价、提高锅炉机组的运行灵活性和自动化水平、发展更多锅炉品种以适应不同的燃料、提高锅炉机组及其辅助设备的运行可靠性、减少对环境的污染。

## （二）锅炉的工作原理

锅炉工作过程一般包括煤的行程、烟气行程、空气行程和工质行程。锅炉的工作过程如图2-2所示。

（1）煤的行程：由煤仓落下的煤经给煤机送入磨煤机磨成煤粉。煤在磨制过程中要用热空气干燥。送风机将冷空气送入锅炉尾部的空气预热器，冷空气在此被烟气加热。热空气的





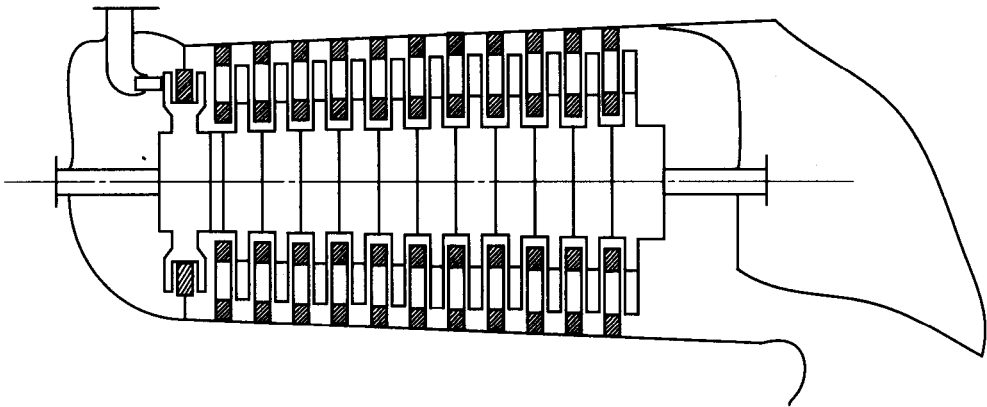


图 2-3 汽轮机结构图

转，再带动发电机源源不断地产生电能。动叶片承受蒸汽冲击力作用的原理叫冲动原理。

当蒸汽在动叶片流道中流过时，如果蒸汽在其内继续膨胀降压，进一步将热能转换为动能，蒸汽在高速离开动叶片的同时给其一个反作用力，就像火箭的工作原理一样，这叫反作用原理。

根据蒸汽产生冲击力和反作用力大小比例以及结构的不同，汽轮机可分为冲动式和反动式两大类，目前我国均有生产。由一系列喷嘴（静叶片）和一系列动叶片构成汽轮机最基本的做功单元，称为“级”。汽轮机是由许多级串联起来的，蒸汽在各级内逐级膨胀做功，组成多级汽轮机。现代电厂使用的大功率汽轮机往往由几十级至一百多级组成，分装在高压缸、中压缸、低压缸中，称为多缸汽轮机。

在汽轮机内做完功的蒸汽被排至低压缸后的凝汽器，在凝汽器内蒸汽将热量进一步传给循环水，最终成为凝结水，凝结水再通过高低压加热器等进入锅炉。所以凝汽器的任务有两个：一是使做完功的蒸汽凝结，使排汽侧形成负压（称真空状态），以提高热效率；其次是回收做完功的蒸汽，供给锅炉洁净的凝结水。

调速系统的作用是保持汽轮机在额定转速 3000r/min 下稳定运行，调整进汽量，以适应电力负荷变化的需要。危急保安器是装在汽轮机大轴上的重要保护装置。当调速系统动作失灵，汽轮机转速超过 3300r/min 时，危急保安器动作，迅速将主汽门关闭，防止汽轮机超速破坏，以免造成设备破坏和人身伤亡事故。

#### 四、汽轮发电机的基本结构及其工作原理

火电厂中用来发电的电机都是由汽轮机或燃气轮机拖动的同步发电机。它是利用导线切割磁力线感应出电动势的电磁感应原理，将原动机的机械能变为电能输出。同步发电机由定子和转子两部分组成。定子是发出电力的电枢，转子是磁极。定子是由电枢铁芯、均匀排放的三相绕组及机座、端盖等组成。转子通常为隐极式，由励磁绕组、铁芯和轴、护环、中心环等组成。汽轮发电机的极数多为两极的，也有四极的。图 2-4 为 Siemens 公司产 THDD108/44 型 350MW 汽轮发电机结构示意图。

转子的励磁绕组通入直流电流，产生接近于正弦分布磁场（称为转子磁场），其有效磁通与静止的电枢绕组相交链。转子旋转时，转子磁场随同一起旋转、每转一周，磁力线顺序切割定子的每相绕组，在 3 相定子绕组内感应出 3 相交流电动势。发电机带对称负载运行时，三相电枢电流合成产生一个同步转速的旋转磁场。定子磁场和转子磁场相互作用，会