



# 火力发电设备技术手册

第三卷  
自动控制

中国动力工程学会 主编






# 火力发电设备技术手册

第三卷

自动控制

中国动力工程学会 主编

机械工业出版社 

火力发电设备技术手册是一套系统概括火力发电设备各专业技术主要内容的技术工具书。全套手册总结了我国 80 年代以来发展火力发电设备的实践经验,内容丰富、实用,技术先进。全套手册共分锅炉、汽轮机、自动控制、火电站系统与辅机等四卷。

本卷是第三卷自动控制。主要内容包括热工过程自动控制的理论基础、热工控制对象的数学模型、锅炉的自动控制、汽轮机的自动控制、火力发电单元机组的协调控制系统、燃烧器管理系统、汽轮机安全监控系统、顺序控制、分散式控制系统、实时仿真培训系统等。

本手册主要为从事火力发电行业设计、制造、运行、科研和管理等方面的科技人员查阅使用,也可供有关的高等学校师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

火力发电设备技术手册 第三卷: 自动控制/中国动力工程学会主编.  
—北京:机械工业出版社, 2000.3  
ISBN 7-111-07653-2

I. 火… II. 中… III. 火电厂-自动控制设备-技术手册  
IV. TM621.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 51815 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王琳 陈国华 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民  
封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

87mm×1092mm<sup>1/16</sup>·34 5 印张·2 插页·1012 千字

0 001—2 500 册

定价: 78.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

荟萃火电技术精华  
促进能源事业发展

祝贺火力发电设备  
技术手册出版

陆燕荪

一九九七·十

# 编 辑 委 员 会

主任委员	陆燕荪				
副主任委员	周鹤良	杨锦山	陈尚文	陈宾墨	梁维燕
委 员	(按姓氏笔划为序)				
	丁 一	史习仁	田雨时	吕兆璧	吴一权
	吴晓华	沈天锡	岑可法	李宗文	张攸民
	陈之航	陈延豪	陈德昌	陈瑞藻	宗福新
	陆忠麟	周锡生	姜承谟	徐大懋	翁史烈
	都兴有	高京生	陶鼎文	谢毓麟	赵昌宗
顾 问	姚福生	汪 耕	霍宏先	郭俊贤	
编辑部主任	张攸民				
副 主 任	宋汉武				

# 第三卷 自 动 控 制

主 编 陈来九

副主编 李 旭

## 前 言

随着社会主义现代化建设的快速发展,能源在国民经济中的重要作用已越来越为人们所认识。根据我国的资源情况,火力发电在电力工业中始终占着较大的比例。1995年底,全国的发电设备装机容量已达2.14亿kW,其中火电1.61亿kW,占76.8%。在火电设备中,我国制造部门提供的机组占80%左右。

我国火电设备制造行业从无到有,由小到大,经历了一个不断奋进的过程。进入80年代后,短短的十多年,发生了很大的变化;大力发展大容量、高参数火电机组;大型火电设备的生产能力大幅度增长;积极发展优质辅机,提高电站成套水平;进一步提高火电站自动化水平;科技攻关取得显著成就。从1956年研制了我国首台单机容量为6MW中压机组到目前开始批量生产300MW和600MW机组,火电设备的年生产能力已达到15000MW。在这一过程中,科研、设计、制造、工艺、材料等方面都积累了十分丰富的经验。认真总结经验,这既是当前进一步快速发展火电设备制造能力的迫切要求,也是以更高的质量水平、技术水平迎接新世纪的历史使命。要瞄准更高的目标,进一步提高火力发电的安全、经济运行,继续发展高参数、大容量、高效率、高可靠性、调峰性能好和低污染的机组,积极开发大容量超临界机组;兴建坑口、路口火电站群,建设大型和超大型火电基地;开发新型清洁煤燃烧发电技术以及大容量空冷机组。

中国动力工程学会早在1985年就着手编辑火力发电设备技术手册,成立了手册编辑委员会。以理论联系实际为指导思想,以实用为编写原则,着重总结我国发展火电设备的实践经验,综合全行业科技人员的经验和智慧,同时有选择地吸取国外的先进科学技术,并力求体现内容的实用性、科学性和先进性。

本手册是我国发电设备行业的专业性手册,主要以从事火力发电行业的设计、制造、运行、科研和科技管理等方面的科技人员为主要对象。

本手册动员和组织了全行业主要单位的专家及有关高等院校教授进行编写、参与讨论、审稿的共达300人之多。做到集思广议,博采众长。编写中还得到有关单位领导的大力支持。

由于手册的《锅炉》、《汽轮机》、《自动控制》和《火电站系统与辅机》四卷是分别编写成的,作者人数多、范围广,在内容和形式上不易做到协调一致,错误与不足之处在所难免,热诚欢迎读者批评指正。

## 编辑说明

1. 《火力发电设备技术手册》是中国动力工程学会组织编写的。手册以理论联系实际为指导思想，以实用为编写原则，具有指导、启发、参考和备查的作用。

2. 《火力发电设备技术手册》全面总结了我国40多年来火电设备制造业的实践经验。参加本手册编写工作的有全国长期从事火电设备科研、设计、制造和教育的140余位专家，参加审定稿的人员则更为广泛。

3. 《火力发电设备技术手册》共分四卷。第一卷：锅炉；第二卷：汽轮机；第三卷：自动控制；第四卷：火电站系统与辅机。共计600余万字。

4. 本手册中一律采用法定计量单位。所用的名词、术语、符号、代号，凡有标准的一律按标准规定，凡尚未列入标准的，则采用本行业中通用的名称。

5. 本手册中图、表、公式的编号一律采用由短横相连的三个数字表示：第一个数字表示卷号，第二个数字表示章号，第三个数字表示顺序号。例如：图2-4-26，即第2卷第4章中的第26图。

6. 本手册的编写工作始于1986年，历时十余年。作者又来自全国各地。因此，有些名词、术语尚有不尽统一，内容上也有重复遗漏的地方，敬请读者指正。

7. 本手册的署名以单位和个人相结合的方式。编辑委员会全体成员署于各卷前面，各卷的主编、主审署于相应卷前面，各章的编写人和审定人署于相应章前面。另外，参加本手册编写、审查、组织、协调的单位和人员还很多，恕不一一署名。

火力发电设备技术手册  
编辑部



# 目 录

## 前言

## 编辑说明

## 第一章 热工过程自动控制的理论

### 基础 ..... 1-1

### 常用符号表 ..... 1-2

### 第一节 概述 ..... 1-3

#### 一、电厂热工过程自动控制 ..... 1-3

#### 二、热工过程自动控制系统 ..... 1-3

### 第二节 系统的数学描述 ..... 1-4

#### 一、动态系统 ..... 1-4

#### 二、单变量系统的数学描述 ..... 1-5

#### 三、多变量系统的数学描述 ..... 1-11

### 第三节 单变量连续反馈控制系统 ..... 1-13

#### 一、热工过程反馈控制系统的特点 ..... 1-13

#### 二、反馈控制系统的稳定性 ..... 1-17

#### 三、控制系统的性能指标 ..... 1-19

#### 四、单回路反馈控制系统的整定 ..... 1-21

#### 五、串级控制系统和前馈-反馈控制

#### 系统的整定原则 ..... 1-24

### 第四节 线性采样控制系统 ..... 1-25

#### 一、概述 ..... 1-25

#### 二、连续时间信号的采样 ..... 1-26

#### 三、Z变换 ..... 1-29

#### 四、Z传递函数 ..... 1-31

#### 五、采样控制系统的稳定性判别 ..... 1-32

#### 六、连续时间系统的离散时间模型 ..... 1-33

#### 七、单变量反馈控制系统 ..... 1-36

### 第五节 状态变量法概论 ..... 1-38

#### 一、连续时间系统的状态变量表达

#### 式 ..... 1-38

#### 二、离散时间系统的状态变量表达

#### 式 ..... 1-45

#### 三、状态变量反馈系统 ..... 1-48

#### 四、线性二次型最优控制 ..... 1-49

#### 五、状态观测器 ..... 1-51

### 第六节 多变量控制系统 ..... 1-53

#### 一、概述 ..... 1-53

#### 二、多变量系统的数学描述和若干

#### 基本概念 ..... 1-54

#### 三、多变量反馈控制系统的分析 ..... 1-61

#### 四、多变量系统的解耦控制 ..... 1-62

#### 五、多变量控制系统的近代频域设

#### 计方法简介 ..... 1-67

#### 参考文献 ..... 1-72

## 第二章 热工控制对象的数学模型 ..... 2-1

### 第一节 概述 ..... 2-2

#### 一、建立热工控制对象数学模型的

#### 目的 ..... 2-2

#### 二、热工控制对象数学模型的建立

#### 方法 ..... 2-2

### 第二节 分析法建模 ..... 2-2

#### 一、单相区段动态特性计算 ..... 2-2

#### 二、双相区段动态特性计算 ..... 2-7

#### 三、直流锅炉压力与流量通道的动

#### 态特性计算 ..... 2-10

#### 四、自然循环蒸发系统的数学模型 ..... 2-10

#### 五、炉内燃烧过程的动态关系 ..... 2-12

#### 六、中间再热汽轮机的动态数学模

#### 型 ..... 2-14

### 第三节 瞬态响应法建立数学模型 ..... 2-16

#### 一、概述 ..... 2-16

#### 二、由阶跃响应试验曲线确定的传

#### 递函数 ..... 2-20

### 第四节 频率响应法建立数学模型 ..... 2-28

#### 一、频率响应特性的试验方法 ..... 2-29

#### 二、由频率特性求取传递函数 ..... 2-30

### 第五节 测定动态特性的统计法 ..... 2-32

#### 一、随机噪声的数学描述 ..... 2-32

#### 二、用互相关函数法测定对象的脉

#### 冲反应函数 ..... 2-33

#### 三、用白噪声测定对象的动态特性 ..... 2-33

#### 四、用伪随机信号测定对象的动态

#### 特性 ..... 2-33

#### 五、用M序列信号测定对象的动态

## X 目 录

特性 .....	2-34	第三节 采用高压抗燃油的电液调节系统 .....	4-16
六、用相关分析法测定双输入-双输出对象的动态特性 .....	2-34	一、采用高压抗燃油电液调节系统的特点 .....	4-16
七、控制对象离散时间数学模型的建立 .....	2-35	二、电液伺服机构 .....	4-16
参考文献 .....	2-37	三、供油装置 .....	4-17
<b>第三章 锅炉的自动控制</b> .....	3-1	四、抗燃油与再生装置 .....	4-18
第一节 概述 .....	3-2	第四节 数字式电液控制系统(DEH) .....	4-20
第二节 锅筒锅炉给水自动控制系统 .....	3-2	一、数字式电液控制系统的特点 .....	4-20
一、概述 .....	3-2	二、控制系统基本部套 .....	4-20
二、控制对象的动态特性 .....	3-4	三、DEH 功能 .....	4-25
三、给水控制系统的类型与整定方法 .....	3-5	四、典型的 DEH 系统 .....	4-26
四、给水全程控制系统 .....	3-7	第五节 汽轮机的自动启动(ATC) .....	4-34
第三节 锅筒锅炉蒸汽温度自动控制系统 .....	3-11	一、概述 .....	4-34
一、过热汽温自动控制系统 .....	3-11	二、ATC 控制流程 .....	4-35
二、再热汽温控制系统 .....	3-19	三、应力控制与寿命管理 .....	4-35
第四节 锅筒锅炉燃烧自动控制系统 .....	3-22	四、典型的 ATC 系统 .....	4-35
一、概述 .....	3-22	第六节 汽轮机辅机控制 .....	4-37
二、燃料量控制系统 .....	3-23	一、旁路阀门电液控制系统 .....	4-37
三、送风量控制系统 .....	3-29	二、轴汽封自动调节系统 .....	4-38
四、引风量控制系统 .....	3-31	第七节 汽轮机调节系统测试 .....	4-39
第五节 直流锅炉自动控制系统 .....	3-33	一、静态试验方法 .....	4-39
一、直流锅炉的控制任务和特点 .....	3-33	二、动态试验方法 .....	4-39
二、直流锅炉的动态特性 .....	3-34	三、电液伺服系统的模拟试验 .....	4-41
三、直流锅炉的自动控制系统 .....	3-35	四、测试中应注意的几个问题 .....	4-42
第六节 旁路控制系统 .....	3-37	第八节 可靠性设计 .....	4-44
一、概述 .....	3-37	一、可靠性的基本概念 .....	4-44
二、旁路控制系统的原理框图 .....	3-37	二、电液调节系统的可靠性设计 .....	4-46
三、旁路控制系统 .....	3-38	三、降额使用 .....	4-49
<b>第四章 汽轮机的自动控制</b> .....	4-1	四、严格的筛选及老化 .....	4-49
第一节 概论 .....	4-2	五、其他措施 .....	4-50
一、概述 .....	4-2	六、实际的可靠性设计 .....	4-50
二、汽轮机调节的基本概念 .....	4-2	<b>第五章 火力发电单元机组的协调控制系统</b> .....	5-1
三、汽轮机调节的发展过程 .....	4-4	第一节 概述 .....	5-2
第二节 电液调节系统 .....	4-5	第二节 功能与任务 .....	5-2
一、电液调节系统的原理与特点 .....	4-5	一、锅炉-汽轮机作为一个整体进行控制 .....	5-2
二、电液调节系统的基本部套 .....	4-5	二、保障机组与控制系统运行的安全可靠性 .....	5-7
三、功率-频率电液调节系统 .....	4-7	三、提高机组运行的技术经济效益 .....	5-9
四、典型电液调节系统(AEH) .....	4-11	第三节 运行方式 .....	5-10
五、抽汽式汽轮机电液调节系统 .....	4-11	一、CCS 的系统运行方式 .....	5-10
六、给水泵汽轮机电液调节系统 .....	4-14		

二、锅炉跟随与汽轮机跟随 .....	5-11	二、可编程序型 BMS 的优缺点 .....	6-32
三、协调控制 .....	5-17	三、分散控制系统在 BMS 中的应	
第四节 CCS 工程实例的设计思想 .....	5-24	用 .....	6-33
一、以锅炉跟随为基础的协调控制 .....	5-24	<b>第七章 汽轮机安全监控系统</b> .....	7-1
二、以汽轮机跟随为基础的协调控		第一节 概述 .....	7-2
制 .....	5-30	第二节 组成 .....	7-8
三、综合型协调控制 .....	5-32	一、低真空保护 .....	7-8
四、DEB 协调控制 .....	5-33	二、轴向位移 .....	7-10
第五节 总体结构 .....	5-37	三、胀差和汽缸膨胀 .....	7-18
一、系统容量 .....	5-37	四、润滑油压过低 .....	7-23
二、基本硬件配置 .....	5-37	五、振动 .....	7-26
三、CCS 的总体结构 .....	5-38	六、主轴弯曲 .....	7-38
四、CCS 在 BTG 盘上的监控管理 .....	5-43	七、转速监视及超速保护 .....	7-42
第六节 主控系统 .....	5-46	八、故障诊断装置 .....	7-48
一、机组指令处理回路 .....	5-47	参考文献 .....	7-54
二、机炉主控系统 .....	5-59	<b>第八章 顺序控制</b> .....	8-1
第七节 协调控制系统与汽轮机控制		第一节 概述 .....	8-2
系统的接口 .....	5-71	一、PLC 的主要特点与功能 .....	8-2
一、与汽轮机液压控制系统接口 .....	5-71	二、PLC 的构成 .....	8-3
二、与汽轮机电气控制系统接口 .....	5-74	三、PLC 的简要工作原理 .....	8-6
第八节 协调控制系统与燃烧器管理		第二节 集散控制系统中的机组顺序	
系统的接口 .....	5-79	控制系统 .....	8-8
一、北京巴威公司 B&WB-1025/16.8-		一、机组自起停顺序控制系统 .....	8-9
M 锅炉的 CCS/BMS 接口 .....	5-79	二、功能组级和设备级顺序控制系	
二、CE 引进型 1025t/h 锅炉的 CCS		统 .....	8-10
/BMS 接口 .....	5-81	第三节 输煤顺序控制系统 .....	8-17
参考文献 .....	5-84	一、输煤控制系统的内容和形式 .....	8-17
<b>第六章 燃烧器管理系统</b> .....	6-1	二、可编程序控制器控制系统的实	
第一节 概述 .....	6-2	现 .....	8-18
第二节 锅炉燃烧设备简介 .....	6-2	三、主体程序装置 .....	8-19
一、燃烧器及风箱 .....	6-2	四、输煤设备自动运行 .....	8-22
二、燃油系统 .....	6-3	五、输煤胶带的各种安全保护装置 .....	8-24
三、制粉系统 .....	6-5	六、典型控制逻辑 .....	8-26
四、风系统 .....	6-6	第四节 吹灰器程序控制系统 .....	8-35
第三节 BMS 的结构和工作原理 .....	6-6	一、系统构成 .....	8-35
一、BMS 的结构 .....	6-6	二、主控制装置 .....	8-36
二、BMS 的工作原理 .....	6-7	三、动力控制装置 .....	8-37
第四节 BMS 应用中的几个问题 .....	6-30	四、软件说明 .....	8-37
一、功能选择 .....	6-30	第五节 除灰除渣控制系统 .....	8-38
二、设备选型 .....	6-31	一、系统简介 .....	8-38
三、BMS 的现场调试 .....	6-31	二、工艺流程与控制要求 .....	8-39
第五节 BMS 的发展方向 .....	6-32	三、系统组态 .....	8-47
一、固定程序型 BMS 的优缺点 .....	6-32	四、系统配套设备 .....	8-47

## XII 目 录

第六节 补给水、水泵、风机的程序控制系统 .....	8-50
一、补给水程序控制系统 .....	8-50
二、水泵、风机的程序控制系统 .....	8-52
<b>第九章 分散控制系统 .....</b>	<b>9-1</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>9-2</b>
一、计算机在火力发电厂的应用 .....	9-2
二、分散控制系统在火力发电厂的应用 .....	9-2
<b>第二节 贝利控制公司的 INFI-90 系统 .....</b>	<b>9-3</b>
一、INFI-90 系统简介 .....	9-3
二、INFI-90 系统的通信网络 .....	9-3
三、INFI-90 系统的过程控制单元 .....	9-6
四、INFI-90 系统的操作接口站 .....	9-13
五、INFI-90 系统的计算机接口及工程师工作站 .....	9-15
六、INFI-90 系统的软件 .....	9-16
七、INFI-90 系统实际配置举例 .....	9-19
八、INFI-90 系统汇总 .....	9-23
<b>第三节 福克斯波罗公司的 I/A 系统 .....</b>	<b>9-23</b>
一、I/A 系统的网络结构 .....	9-23
二、I/A 系统的硬件结构 .....	9-25
三、I/A 系统的软件结构 .....	9-27
四、电站应用软件包 .....	9-30
五、电站应用实例 .....	9-34
<b>第四节 利诺公司的 MAX1000 系统 .....</b>	<b>9-39</b>
一、概述 .....	9-39
二、分散处理单元 .....	9-40
三、输入/输出模板 .....	9-43
四、操作员工作站 .....	9-48
五、工程师工作站 .....	9-51
六、数据高速公路 .....	9-53
七、系统配置 .....	9-54
<b>第五节 西屋电气公司的 WDPF 系统 .....</b>	<b>9-56</b>
一、概述 .....	9-56
二、系统结构 .....	9-56
三、支持软件 .....	9-59
四、WDPF 系统的应用特点 .....	9-60
<b>第六节 ABB-CE 公司的 MOD-300 系统 .....</b>	<b>9-63</b>
一、硬件配置 .....	9-63
二、数据采集系统 .....	9-66
三、协调控制系统 .....	9-66
<b>第十章 实时仿真培训系统 .....</b>	<b>10-1</b>
<b>第一节 总论 .....</b>	<b>10-2</b>
一、火电厂实时仿真培训系统的发 展概况 .....	10-2
二、实时仿真培训系统的设备及配 置 .....	10-2
三、实时仿真培训系统的功能与作 用 .....	10-3
四、对实时仿真培训系统的要求及 评价 .....	10-5
五、电站仿真系统的分类与展望 .....	10-6
六、实时仿真系统的支撑软件 .....	10-7
七、单元机组的全工况仿真数学模 型 .....	10-8
<b>第二节 锅炉过程数学模型 .....</b>	<b>10-10</b>
一、锅炉仿真系统概述 .....	10-10
二、锅筒及蒸发系统 .....	10-10
三、过热器和再热器系统 .....	10-12
四、尾部受热面系统 .....	10-14
五、炉膛燃烧系统 .....	10-14
六、给水系统 .....	10-15
七、风烟系统 .....	10-16
八、制粉系统 .....	10-17
九、吹灰系统 .....	10-17
<b>第三节 汽轮机过程数学模型 .....</b>	<b>10-18</b>
一、汽轮机仿真系统概述 .....	10-18
二、汽轮机热力计算 .....	10-19
三、轴封系统 .....	10-19
四、凝汽真空系统 .....	10-20
五、旁路系统 .....	10-20
六、汽轮机调节保安系统 .....	10-21
七、高、低加热器系统 .....	10-22
八、汽轮机热系统 .....	10-22
九、凝结水系统和除氧器系统 .....	10-22
十、汽轮机油系统及振动 .....	10-23
十一、采暖抽汽及热网供水系统 .....	10-24
十二、循环水系统和发电机冷却系 统 .....	10-25
<b>第四节 电气过程数学模型 .....</b>	<b>10-25</b>
一、电气仿真系统概述 .....	10-25
二、发电机本体模型 .....	10-26
三、网控操作系统 .....	10-30

四、励磁系统 ..... 10-30  
五、高压厂用电系统 ..... 10-31  
六、低压厂用电系统 ..... 10-31  
七、直流系统 ..... 10-31

八、并网模块 ..... 10-31  
九、电气保护系统 ..... 10-32  
参考文献 ..... 10-32

# **第一章 热工过程自动控制 的理论基础**

编写单位 东南大学

编写人 陈来九

主 审 李 旭



## 常用符号表

$a_i$	— 常系数, $i=1,2,\dots$	$I_m$	— $m \times m$ 单位矩阵
$b_i$	— 常系数, $i=1,2,\dots$	$J$	— 性能指标、积分准则
$b$	— 列向量, 各元为常数	$K(s)$	— 控制器矩阵
$c^T$	— 列向量 $c$ 的转置(行向量)	$L$	— 拉普拉斯变换的运算符号
$e$	— 偏差, 误差	$L^{-1}$	— 拉普拉斯逆变换的运算符号
$e_i$	— 标准基向量, 单位矩阵的第 $i$ 列	$L(s)$	— 两个多项式矩阵的左公因子(多项式矩阵)
$f(t)$	— 时间的连续函数	PID	— 比例积分微分作用
$g(t)$	— 单位脉冲函数或称为权函数	$Q(s)$	— 前向传递函数矩阵
$k$	— 放大系数, 增益	$R(s)$	— 两个多项式矩阵的右公因子(多项式矩阵)
$k_p$	— 调节器的比例增益	Re	— 复平面上的实轴
$r$ 或 $r(t)$	— 设定值	$T$	— 采样周期
$s$	— 拉普拉斯算子	$T_1$	— 积分时间
$t$	— 时间	$T_D$	— 微分时间
$u$ 或 $u(t)$	— 输入信号	$U(t)$	— 输入向量
$v$	— 扰动	$Y(t)$	— 输出向量
$v_i^T$	— 列向量 $v_i$ 的转置, $i=1,2,\dots$	$Z$	— $Z$ 变换的运算符号
$w_i$	— 列向量, 特征向量	$Z^{-1}$	— $Z$ 逆变换的运算符号
$x$	— 状态变量	$\gamma$	— 相位裕量
$\mathbf{x}$	— 状态向量	$\delta$	— 调节器的比例带
$\dot{\mathbf{x}}$	— 向量 $\mathbf{x}$ 对时间的一阶导数	$\delta(t)$	— 单位脉冲函数, 单位脉冲
$y$ 或 $y(t)$	— 输出信号	$\epsilon$	— 对象的响应速度
$z$	— $Z$ 变换中的变量符号	$\zeta$	— 阻尼系数
$A, B, C, D$	— 常数矩阵	$\zeta(t)$	— 系统变量
$F(z)$	— $f(t)$ 的 $Z$ 变换	$\rho$	— 对象的自平衡率
$G(s)$	— 传递函数	$\tau$	— 对象的迟延时间
$G(s)$	— 传递函数矩阵	$\Phi(s)$	— 特征多项式
$\hat{G}(s)$	— $G(s)$ 的逆矩阵	$\psi$	— 衰减率
$G(z)$	— $Z$ 传递函数	$\omega$	— 角频率
$G(j\omega)$	— 频率传递函数	$\omega_n$	— 无阻尼振荡频率
Im	— 复平面上的虚轴		

# 第一节 概 述

## 一、电厂热工过程自动控制

电厂热工过程的自动控制主要是对锅炉、汽轮机及其辅助设备运行的自动控制，控制的目的是使机组自动适应工况的变化而且保持在安全、经济的条件下运行。热工过程自动控制的直接目标往往是把表征生产过程是否正常进行的一些物理量和化学量，如蒸汽压力、温度、炉膛负压、锅筒水位、蒸汽流量和烟气中的含氧量等尽可能地等于所希望的数值。通常把生产过程中热工参数（如温度、压力、流量、液位、化学成分等）的控制称为热工过程控制。电厂生产过程中另一类控制是对生产设备的启动和停机的自动控制，例如锅炉、汽轮机、水泵、风机等在启动和停机时要按照运行要求，以规定的条件和程序进行一系列自动操作，这类控制称为顺序控制。顺序控制也是热工过程控制的重要组成部分。热工过程自动控制是现代火力发电厂生产的必要条件之一。

## 二、热工过程自动控制系统

利用各种仪表和自动化装置（包括计算机和微处理机）对热工过程实现自动控制构成热工过程自动控制系统。热工过程自动控制系统可分为两大类，

即断续控制系统和连续控制系统。

断续控制系统所要控制的变量是开关量（开或关、大或小、有或无）。如果控制系统只按事件的逻辑关系来决定控制变量开或关的，称为逻辑控制系统；如果控制系统根据规定的条件和程序来决定控制变量的开或关的，就是顺序控制系统。断续控制系统主要应用于机组的自动起、停和自动保护系统以及周期性工作的设备中。

连续控制系统所要控制的变量是连续变化的变量，各种热工参数的自动控制系统都是连续控制系统。这类控制系统常用反馈控制的方式来实现，也称为反馈控制系统。分析研究反馈控制系统的理论是反馈控制理论。本章主要叙述有关反馈控制的理论基础。

反馈控制系统的结构如图 3-1-1 所示。生产过程的被调量（被控变量）经测量装置测量和变换后与设定值进行比较，当出现偏差时，通过运算由调节器（控制器）发出一定规律的调节作用（控制作用），推动执行器去改变调节量（控制量）从而改变被调量，使其等于设定值。下面对自动控制系统的一些术语作简要说明。

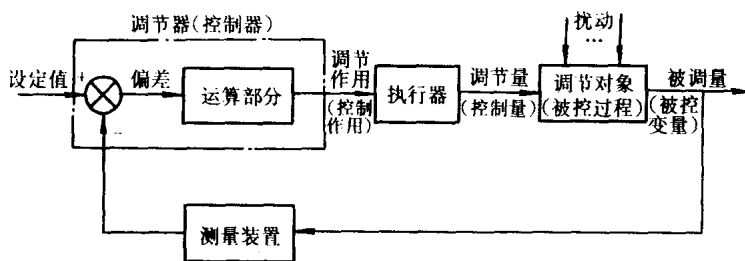


图 3-1-1 基本反馈控制系统的结构

### (一) 随动控制系统和自动调节系统

随动控制系统和自动调节系统都是反馈控制系统。

#### 1. 随动控制系统

被调量常是位置、速度、加速度等，它们随着设定值的改变而改变，这类反馈控制系统，也称为伺服系统。在随动控制系统中，引起控制系统动作的主要原因是设定值的变化，控制系统应使被调量尽快地跟随设定值的变化。

#### 2. 自动调节系统

设定值保持恒值，或者随时间缓慢地改变的反馈控制系统。这时，控制系统的任务主要是克服各种扰动所造成的被调量的改变，使被调量与设定值的偏差尽可能地小，而且尽快地等于设定值。热工过程连续自动控制系统大多属于自动调节系统。

随动控制系统和自动调节系统的基本原理相同，但对控制系统的工作性能要求是有差别的。

### (二) 调节对象

调节对象也称作被控过程（简称过程）。这是在分析研究生产过程自动控制时，根据自动控制的具

任务而对生产过程建立的模型。调节对象的输出信号就是运行需要控制的变量,称为被调量(或被控变量);而输入信号则为影响被调量变化的各种因素,包括主动改变被调量的控制手段(称为调节量或控制量)和其他引起被调量变化的原因(称为扰动)。例如,对于锅筒锅炉,为了实现给水自动控制,就要建立以锅筒水位作为输出信号,而以给水流量(调节量)和蒸汽流量、燃烧率等扰动作为输入信号的给水调节对象。根据自动控制的目的,正确建立调节对象,是分析研究自动控制的基础。

调节对象的输入信号和输出信号在动态过程中的变化关系称为调节对象的动态特性,用数学方程来描述对象的动态特性时,这些数学方程称为调节对象的数学模型。

对于具有一个被调量和一个调节量的调节对象称为单变量对象;而具有一个以上被调量和一个以上调节量的调节对象称为多变量对象。

### (三) 调节器

在自动调节系统中,以设定值与被调量的测量信号作为输入。当它们之间有偏差时,输出与偏差以适当规律的信号去推动执行器的装置称为调节器。调节器可以是模拟式的,它的输入信号和输出信号在时间上都是连续的。模拟式调节器一般采用通用的调节规律(常用比例、积分、微分调节规律,即调节器的输出信号为偏差的比例、积分、微分运算,简称PID调节规律),调节器的有些参数可以调整以与不同特性的调节对象匹配组成反馈控制系统。调节器也可以是数字式的,用数字式调节器或计算机来实现所需的调节规律。在采用数字式调节器的自动调节系统中,被调量通过采样成为在时间上离散的信号输入到调节器,而调节器所输出的调节信号在时间上也是离散的。采用数字式调节器的自动调节系统属于数字控制系统,分析这类控制系统的原

理与时间连续信号的控制系统基本相同。

### (四) 执行器

执行器由执行机构和调节机构两部分组成,执行机构接受调节器输出的调节信号产生相应的位移去带动调节机构。通过调节机构位置的改变而改变进入调节对象的物质或能量的流量,从而改变被调量,使被调量的数值等于其设定值。在热工过程中常用的调节机构是各种调节阀。

图 3-1-1 是对于一个单变量对象所组成的最基本的反馈控制系统,分析研究这类反馈控制系统是反馈控制理论的基础。

为了便于分析讨论,在控制理论中常把图 3-1-1 所示的反馈控制系统表示为由两个部分组成:其中一个为控制子系统,或称为广义调节器,习惯上简称为调节器或控制器;另一个组成部分是被控子系统,或称为广义调节对象(或广义被控过程),习惯上简称为调节对象(或过程)。反馈控制系统的简化框图如图 3-1-2 所示。与图 3-1-1 相比可以看出:广义调节器中包含了设定值和被调量测量信号的比较部分、运算部分和执行器(或执行机构);广义调节对象中包含了被控过程和测量装置(也可能包含调节机构)。

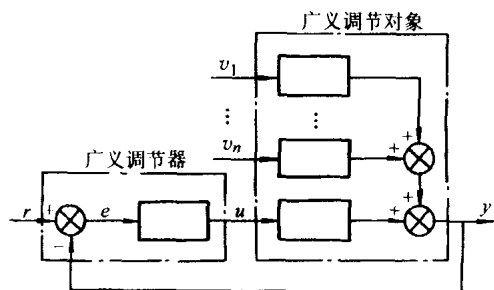


图 3-1-2 单变量反馈控制系统简化框图

$r$ —设定值  $e$ —偏差  $u$ —调节量  
 $y$ —被调量  $v_1, \dots, v_n$ —扰动

## 第二节 系统的数学描述

### 一、动态系统

动态系统示意图如图 3-1-3 所示。

输入变量是使动态系统发生变化的原因,输出变量是动态系统在输入作用下的响应(效果),而状态变量则是联系输入和输出的动态系统的内部变量。因此,动态系统是指有特定输入和输出的设备或装置的一种模型。例如在图 3-1-2 所示的反馈控制

系统中,调节对象和调节器是动态系统,而整个反馈控制系统也可看作是一个动态系统。

动态系统简称系统。在动态过程中,系统的输入、输出和状态变量都是时间的函数,它们之间的关系称为系统的动态特性。动态特性的数学表达式称为数学模型。

### (一) 单变量系统和多变量系统