

火电机组控制工程应用技术丛书

MONILIANG KONGZHI JISHU JIQI YINGYONG

模拟量控制技术 及其应用

侯典来 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



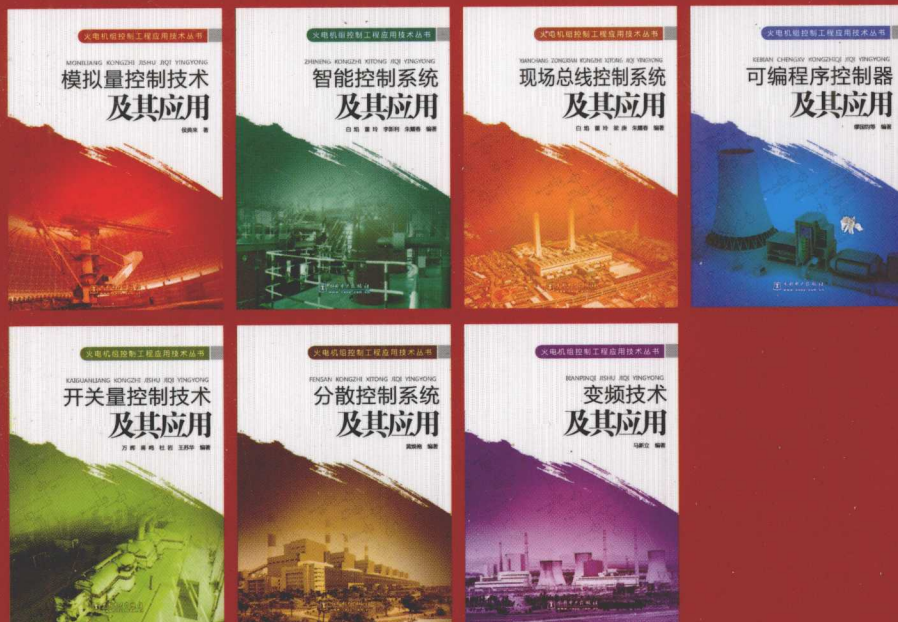
用电技术出版中心

010-58383410

策划编辑: 孙 芳

电子信箱: sun_fang@cepp.com.cn

火电机组控制工程应用技术丛书



- 模拟量控制技术及其应用
- 开关量控制技术及其应用
- 可编程序控制器及其应用
- 变频技术及其应用
- 分散控制系统及其应用
- 现场总线控制系统及其应用
- 智能控制系统及其应用

ISBN 978-7-5083-7950-0



9 787508 379500 >

定价: 49.80元

上架建议: 电力工程 / 火力发电

火电机组控制工程应用技术丛书

MONILIANG KONGZHI JISHU JIQI YINGYONG

模拟量控制技术 及其应用

侯典来 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书在介绍了模拟量控制基础知识后,较全面地论述了控制系统的组成,主要内容均为当前较典型的各种控制系统。本书作者从事电厂热控检修、现场投运试验、系统优化调试等工作20余年,作者结合近几年电厂模拟量控制系统改造方面的成果,对单元机组协调控制、锅炉燃烧过程控制、汽包水位控制、蒸汽温度控制、汽轮机 DEH 控制、汽动给水泵 MEH 控制、主要辅机控制的系统结构、原理和组态特点进行了详细介绍,并且给出了一些机组的典型控制系统试验措施。

全书共分为 11 章,第 1 章讲解模拟量控制基本概念;第 2 章~第 10 章讲解系统构成、控制原理、逻辑功能组态、扰动试验措施包括协调控制系统的 AGC 试验、负荷摆动试验、一次调频试验、RB 试验、各主要控制系统的定值扰动试验、通过扰动试验进行系统优化、查找问题并提出解决方案;第 11 章讲解模拟量控制技术特点和调试过程。

本书适用于在电厂、设计院从事模拟量控制工程技术及相关工作的人员参考,也可以供高等院校相关专业师生作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟量控制技术及其应用 / 侯典来著. —北京:中国电力出版社, 2008

(火电机组控制工程应用技术丛书)

ISBN 978-7-5083-7950-0

I. 模… II. 侯… III. 火力发电-发电机-机组-控制系统
IV. TM621.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第149275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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 30.5印张 769千字

印数 0001—3000册 定价 49.80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

序

我非常欣喜地看到由中国电力出版社组织的《火电机组控制工程应用技术丛书》即将出版。

这套技术丛书几乎涵盖了现代火电机组控制系统理论和工程应用的各个领域，具有以下特色：

1. 知识新，软、硬件知识相结合

丛书的内容涵盖大多数控制技术领域，并在相应的领域都体现了现代火电机组控制系统的最新技术。其中，《模拟量控制技术及其应用》、《开关量控制技术及其应用》、《可编程序控制器及其应用》和《变频技术及其应用》详细叙述了火电机组控制系统中最新的控制设备、技术和控制策略的理论及其工程应用；《分散控制系统及其应用》、《现场总线控制系统及其应用》和《智能控制系统及其应用》介绍了关于现代控制系统的最新软件和硬件技术，全面介绍了分散控制系统、现场总线控制系统和智能控制的最新理论和应用发展。

2. 技术实用，具有很高的实用价值

《分散控制系统及其应用》、《现场总线控制系统及其应用》和《智能控制系统及其应用》的作者都是在电力系统具有丰富工程、教育实践和雄厚理论知识的专家，作者们对火电机组安全生产和电力行业技术标准的深刻理解，具有丰富的现场工作经验和坚实的控制理论基础，这些都为丛书的高质量出版提供了有力的保障。

《分散控制系统及其应用》和《现场总线控制系统及其应用》详细地分析了分散控制系统和现场总线控制系统的硬件构成和功能模块的设计、网络通信系统和各种接口的技术标准、软件组态等。国内外分散控制系统（DCS）在我国火电机组中得到了广泛应用，现场总线控制系统（FCS）正在我国的火电机组中推广应用，这两本书的出版对于提高分散控制系统（DCS）和现场总线控制系统的国产化技术水平具有重要实用价值。

《智能控制系统及其应用》详细地介绍了人工智能控制的最新理论和应用成果，内容涉及神经网络控制系统、专家系统、模糊逻辑推理控制系统和预测控制系统。该书理论翔实，论述清晰。这些先进的人工智能控制在火电机组中的推广应用，将改进传统的PID控制器的不足，提高火电机组过程控制的品质。

3. 目标明确，针对性强

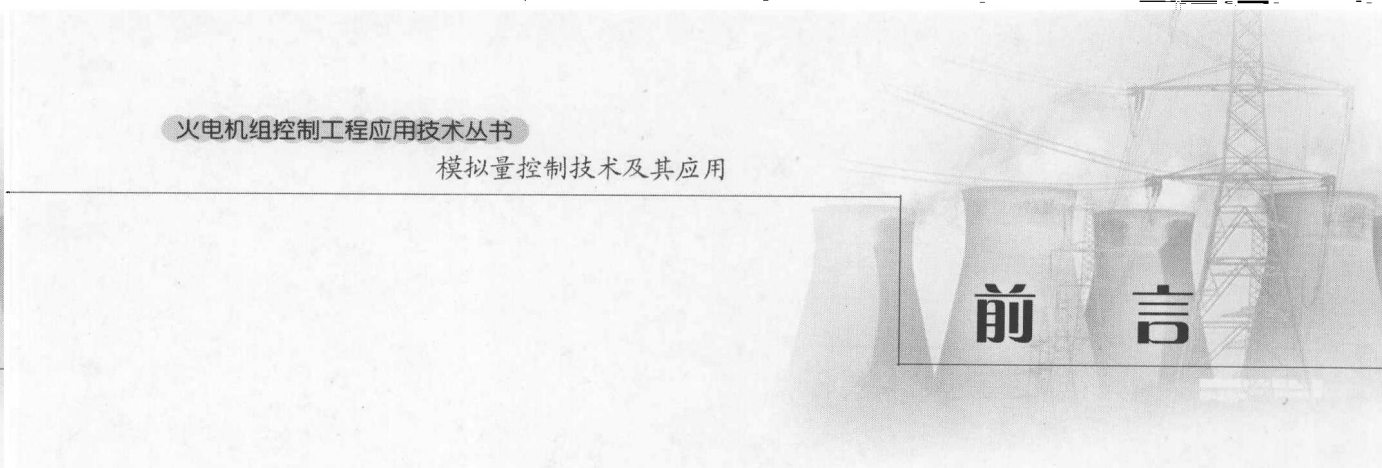
确保生产安全，提高火电机组的生产效益、节能减排、保护环境是我国电力系统广大员

工和火电机组运行过程追求的目标，也是《火电机组控制工程应用技术丛书》出版的目的。先进的控制系统（硬件）——分散控制系统、现场总线控制系统、可编程序控制器（PLC）和变频技术加上先进的控制技术和控制策略（软件）——火电机组的模拟量控制策略组态、开关量控制策略组态和智能控制策略的应用，在本套书中都得到了充分的体现，达到完美的统一，实现了丛书的编写目的。

4. 可读性强，深入浅出，易于掌握

《模拟量控制技术及其应用》、《开关量控制技术及其应用》、《可编程序控制器及其应用》和《变频技术及其应用》详细分析了火电机组的机炉协调控制系统、给水系统、燃烧控制系统等热控系统，汽轮机（DEH）控制系统和发电机控制系统的模拟量和开关量系统的控制策略组态和变频技术在火电机组控制系统方面的应用成果，特别是对每个控制系统的故障处理（包括机组设备退出运行）、系统的生产安全保护知识的介绍，反映了丛书作者深谙火电机组的生产过程，并对火电机组的控制技术有很强的控制能力。丛书内容安排由浅入深，将技术知识体现为简单易懂的语言，让读者容易理解和接受，达到提高应用水平的目的。

我国的火电机组正在向大容量、高参数方向发展。科学技术是第一生产力。技术更新、生产力发展，技术和生产力互为依托，相互促进。我们有理由相信由中国电力出版社策划并即将出版的《火电机组控制工程应用技术丛书》，对于提高我国的火电机组控制系统和控制技术的先进性，提高从业人员的技术水平，促进我国电力事业的科学发展具有重要的推动作用和实用价值。



前言

随着新机组的陆续投产和模拟量控制技术应用日益广泛,新技术不断应用于机组 DCS 改造和控制系统优化,许多从事热工控制专业的人员迫切需要了解这方面的新技术。虽然过去出版了许多这方面的书籍,但是内容一般都偏于基础知识和系统原理,针对电厂常用控制系统的论述和分析尚少,对系统构成、控制过程、应用情况、存在问题及其解决措施更为缺乏,为弥补市场上的空白,作者特编写了此书。

编者根据 20 年来的检修调试、系统优化经验,特别是近年来的最新技术革新成果,结合缺陷处理、技术讲课的调试记录、检修规程、技术总结和所作学术报告编写而成,内容涵盖了机组协调控制、锅炉汽水系统控制,燃烧控制系统包括:燃料控制系统、送风控制系统和引风控制系统;汽轮机和辅机控制系统:包括 DEH 控制、MEH 控制、除氧器水位和高低压加热器水位控制等。

第 1 章介绍基础知识,包括基本概念、系统分类、控制规律和控制指标;第 2 章讲解协调控制,内容包括基本控制方案、存在问题、技术改进过程、一次调频逻辑与试验;第 3 章讲解 DEH 控制,包括 IA'S 和 DEH-Ⅲ A 两种类型控制和系统升级过程;第 4 章讲解 MEH 控制逻辑、系统应用与升级、指令冗余方案和接地问题;第 5 章讲解给水控制、汽包水位特性与控制方案、测量误差分析和执行机构改进;第 6 章讲解汽温控制,包括过热汽温和再热汽温特性分析、逻辑控制功能、阀门流量特性试验和执行机构改型;第 7 章讲解送风和引风控制,包括系统构成、逻辑分析与控制组态;第 8 章讲解一次风和辅助风控制,包括控制方案改进、电气转换器、执行机构和定位器改型;第 9 章讲解燃料控制,包括均衡燃烧控制、磨煤机料位控制、给煤机和给粉机改变频控制;第 10 章讲解汽轮机辅机控制,包括除氧器水位和高低压加热器水位测量与控制、给水泵最小流量阀控制;第 11 章进行了模拟量控制技术特点与调试总结。

由于工作的局限性和编者水平所限,书中如有不当或错误之处,敬请读者批评指正。

编者
2008 年 10 月

目 录

序

前 言

第 1 章 模拟量控制基础知识	1
1.1 模拟量控制技术特点	1
1.2 模拟量控制有关基本概念	1
1.3 控制规律和参数整定	8
1.4 模拟量控制系统分类	12
1.5 模拟量控制品质指标	14
1.6 控制系统主要组成部分	15
1.7 控制系统设备检修规定	16
第 2 章 单元机组协调控制	18
2.1 机组协调控制逻辑	19
2.2 协调控制主要功能	32
2.3 一次调频设计方案	43
2.4 125MW 机组一次调频	49
2.5 300MW 机组一次调频	53
2.6 协调控制系统改造	60
2.7 小结	69
第 3 章 汽轮机 DEH 控制系统	70
3.1 DEH 控制任务和控制对象特性	70
3.2 DEH 控制逻辑与仿真	73
3.3 DEH-ⅢA 控制功能与升级	89
3.4 DEH-ⅢA 系统硬件组成与调试维护	100
3.5 DEH 控制系统改造	108
第 4 章 汽动给水泵 MEH 控制	138
4.1 330MW 机组 MEH 控制	138
4.2 MEH-ⅢA 控制系统应用与升级	157
4.3 300MW 机组汽动给水泵控制系统调试	167
4.4 LC 卡通信中断问题	178
4.5 MEH-ⅢA 系统指令冗余方案	182

第 5 章 锅炉给水控制	186
5.1 给水控制任务和控制对象动态特性	186
5.2 汽包水位控制	188
5.3 300MW 机组汽包水位测量	200
5.4 125MW 机组给水控制系统改造	205
5.5 给水控制改造后逻辑分析	212
5.6 125MW 机组汽包水位信号测量改进	223
5.7 给水泵耦合器勺管执行机构改造	228
第 6 章 锅炉汽温控制系统	234
6.1 汽温控制任务和控制对象特性	234
6.2 过热汽温控制	236
6.3 再热汽温控制	244
6.4 300MW 机组锅炉汽温控制系统调试	250
6.5 汽温控制执行机构由 L-120 型改为 Bernard-SD 型	256
6.6 一级过热汽温远操系统及其执行机构改造	264
第 7 章 送风和引风控制	270
7.1 锅炉风量控制	270
7.2 送风控制系统构成	283
7.3 送风控制逻辑组态	295
7.4 炉膛压力控制	307
7.5 引风控制系统构成与应用	312
7.6 引风控制系统逻辑	320
7.7 SIPOS 5 Flash PROFITRON 型变频智能型执行机构应用技术	325
7.8 氧化锆分析仪测氧原理及应用	330
第 8 章 一次风和锅炉辅助风控制	338
8.1 一次风压控制	338
8.2 锅炉辅助风气控系统	347
8.3 QZD-1100 型电气转换器改为 E69F-BI2-M 型电气转换器	355
8.4 ZSZ-63×125 型气动执行机构改为 CPA1CN63-125-K 型气动执行机构	360
8.5 气动执行机构 F40 型定位器改 TZID-C 型	363
第 9 章 锅炉燃料控制	373
9.1 燃烧控制任务和控制对象动态特性	373
9.2 磨煤机料位测量	376
9.3 给煤机称重原理	382
9.4 CFC-300 给煤机控制	388
9.5 V7AA41P50 变频器控制	393

9.6	双进双出磨煤机料位控制	398
9.7	CS2024 型给煤机控制	404
9.8	均衡燃烧控制	413
9.9	给煤机滑差调速改变频控制	422
9.10	给粉机滑差调速改变频控制	430
第 10 章	汽轮机辅机控制	437
10.1	除氧器水位控制	437
10.2	汽泵最小流量阀控制	442
10.3	高低压加热器水位控制	448
第 11 章	模拟量控制特点与调试过程	458
11.1	模拟量控制特点	458
11.2	协调控制调试过程	462
11.3	主要模拟量控制存在问题与对策	463
附录 A	功能符号	470
附录 B	逻辑运算	473
附录 C	信号处理回路	475
参考文献		478

模拟量控制基础知识

火电厂生产特点包括生产过程连续性和负荷适应性要求严格,运行机组安全可靠性和经济性要求高,控制对象复杂,被调参数多和控制区域广。随着机组容量的增大和参数的提高,对模拟量控制的功能和可靠性提出了更高要求,为保证安全、经济运行,要求熟练地掌握有关基础知识,优质高效地及时检修调试系统设备并处理控制设备故障,为此必须了解控制对象特性,优化系统方案,熟练掌握系统结构原理及其调试技能,提高技术水平。

1.1 模拟量控制技术特点

模拟量控制技术涉及到许多学科,渗透着多种专业知识,利用了各种控制工具,模拟量控制技术特点如图 1-1 所示。

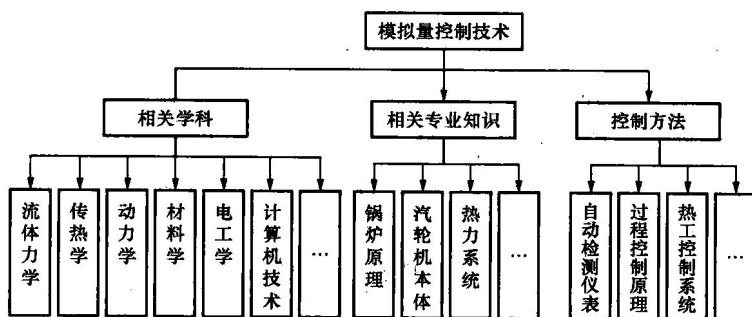


图 1-1 模拟量控制技术特点

随着计算机技术和现代控制理论的高速发展,大容量、高参数单元机组不断投运,为模拟量控制技术的广泛应用与改进创新创造了有利条件。模拟量控制技术优化调试的目的是恢复其工作性能并确认其工作质量,对其维护则要确保热控设备工作状态良好可靠。

1.2 模拟量控制有关基本概念

1.2.1 控制系统及其控制过程

1. 控制系统

由起控制作用的全套自动化仪表装置和被控制的生产设备相互作用形成的一个闭合系统称为控制系统,如图 1-2 所示。

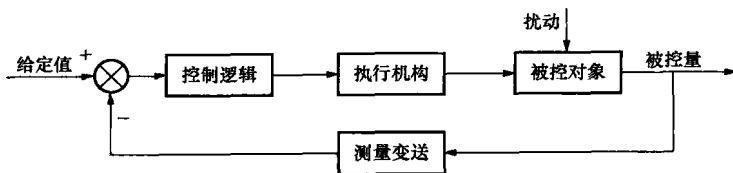


图 1-2 控制系统构成原理图

2. 控制过程

使表征生产设备正常运行的物理量保持在给定值的必要操作称为控制。自动控制系统中，被调参数随时间变化，控制对象受到扰动后，被控量偏离给定值，通过控制装置或运行人员的控制作用，使被控量重新稳定到给定值的过程称为控制过程。

3. 自动控制

生产过程受到干扰而使运行工况发生偏移时，控制设备进行必要的操作来抵消干扰的影响，使运行工况恢复正常，这样的控制称为自动控制。

1.2.2 环节特性及其传递函数

1. 环节

如图 1-2 所示的控制系统方框图中，每一个小方框代表控制对象或自动控制装置的一个部件或一个设备或几个设备的组合体，小方框代表的这些对象称为环节。环节为组成模拟量控制系统的最基本单元。

2. 环节特性

环节的输入信号和输出信号之间的关系称为环节特性。环节处于平衡状态时输入信号与输出信号之间的关系称为环节的静态特性；环节在变动状态时输入信号与输出信号之间的关系称为环节的动态特性。根据动态特性试验，确定被控量，选择控制方案，整定参数。

典型环节是指具有单向传递信号的性质、有代表性的动态特性并且可以用一阶或二阶微分方程来描述的环节，其微分方程的一般形式如式 (1-1) 所示。

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \cdots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \cdots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \quad (m \leq n) \quad (1-1)$$

3. 传递函数

传递函数 $W(s)$ 是初始条件为 0 时，输出量的拉普拉斯变换式和输入量的拉普拉斯变换式之比，由线性常系数微分方程变换得到。通过拉普拉斯变换，把微分方程的阶次和各项系数等特征与输入量、输出量分离出来，并以环节内部结构和参数来表示输入量和输出量之间的关系。传递函数如式 (1-2) 所示。

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \cdots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0} \quad (m \leq n) \quad (1-2)$$

$W(s)$ 的分母 $a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0 = 0$ 就是微分方程的特征方程式，它的根的性质决定环节或系统的动态过程的基本形态——稳定或不稳定，单调或振荡，如图 1-3 所示。如图 1-3 (a) 和图 1-3 (b) 所示的为稳定的控制过程，如图 1-3 (c) 和图 1-3 (d) 所示的为不稳定的控制过程。

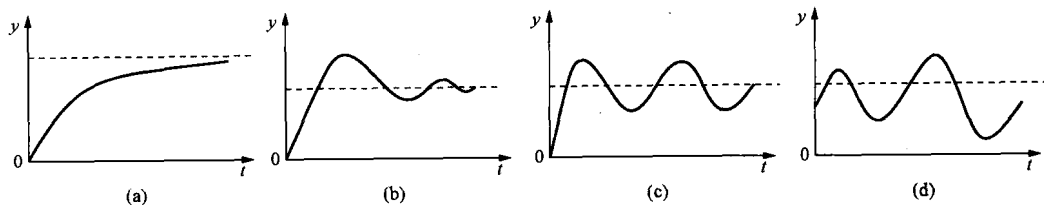


图 1-3 动态过程的基本形态

(a) 单调过程；(b) 衰减振荡过程；(c) 等幅振荡过程；(d) 扩散振荡过程

1.2.3 各环节特性

1. 比例环节

输出信号按照一定比例、无迟延和无惯性地反映输入信号变化的环节成为比例环节。动态方程如式 (1-3) 所示。

$$y(t) = Kx(t) \quad (1-3)$$

传递函数：

$$W_K(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = K \quad (1-4)$$

式中 K ——放大系数。

2. 积分环节

输出信号与输入信号的积分成比例，或输出信号的变化速度与输入信号的变化速度成比例，称之为积分环节。

动态方程如式 (1-5) 所示。

$$y(t) = K_I \int_0^t x(t) dt \quad (1-5)$$

传递函数：

$$W_I(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K_I}{s} = \frac{1}{T_a s} \quad (1-6)$$

式中 K_I ——调节器的积分增益；

T_a ——积分时间。

如无自平衡单容对象是一个积分环节。积分环节一个很重要的特点是当输入信号为 0 时，输出信号才能保持不变，即 $x(t)=0$ 时， $dy/dt = k_I x(t) = 0$ 。

3. 微分环节

在阶跃扰动下，输出信号随时间按指数规律变化的环节称为惯性环节，动态方程如式 (1-7) 所示：

$$T_C \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (1-7)$$

传递函数：

$$W_D(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k}{T_C s + 1} \quad (1-8)$$

式中 T_C ——惯性环节的时间常数；

k ——惯性环节的传递系数或静态放大系数，即平衡状态时输出信号与输入信号的比值。

在汽温控制系统中，测温热电偶可以看做是一个惯性环节。

输出信号和输入信号的一阶导数成比例的环节称为理想微分环节。动态方程如式 (1-9) 所示。

$$y(t) = T_d \frac{dx(t)}{dt} \quad (1-9)$$

$$\text{传递函数:} \quad W_D(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = T_d s \quad (1-10)$$

式中 T_d ——理想微分时间常数。

实际微分环节由理想微分环节串联惯性环节构成。动态方程如式 (1-11) 所示。

$$T_D \frac{dy}{dt} + y(t) = k T_D \frac{dx(t)}{dt} \quad (1-11)$$

$$\text{传递函数:} \quad W_d(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k T_D s}{T_D s + 1} \quad (1-12)$$

式中 T_D ——实际微分时间常数；

k ——传递系数。

从动态特性来看，实际微分环节由一个正向的比例环节和一个反向的积分环节反馈联结构成；也可以看作由一个比例环节和一个惯性环节并联相减构成。

4. 二阶环节

用二阶微分方程来描述动态特性的环节称为二阶环节。动态方程如式 (1-13) 所示。

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \quad (1-13)$$

$$\text{传递函数:} \quad W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (1-14)$$

$$\text{特征方程: } a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0, \text{ 其方程根为 } s_{1,2} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2} = -\frac{a_1}{2a_2} \pm \frac{\sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2}.$$

$$\text{整理 } \frac{\sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2} \text{ 项为 } \sqrt{\left(\sqrt{\frac{a_1}{4a_2 a_0}}\right)^2 - 1} \sqrt{\frac{a_0}{a_2}}.$$

$$\text{设 } \xi = \sqrt{\frac{a_1}{4a_2 a_0}}, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}}, \quad \text{则 } \sqrt{\left(\sqrt{\frac{a_1}{4a_2 a_0}}\right)^2 - 1} \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} = \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1},$$

$$s_{1,2} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2} = -\omega_n \xi \pm \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1} \quad (1-15)$$

式中 ξ ——阻尼系数；

ω_n ——振荡频率。

ξ 的取值不同， $s_{1,2}$ 有 5 种不同性质的根，对控制过程有不同影响。 $\xi > 1$ 时， $s_{1,2}$ 为 2 个不相等的实根，阶跃响应为具有拐点的单调非周期曲线。 $\xi = 1$ 时， $s_{1,2}$ 为 1 对重根，阶跃响应为临界非周期曲线； $0 < \xi < 1$ 时， $s_{1,2} = -\omega_n \xi \pm j \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$ ，两根为 1 对负实部的共轭复根，阶跃响应为衰减振荡曲线； $\xi = 0$ 时， $s_{1,2}$ 为 1 对共轭重根，阶跃响应为临界稳定状态。 $-1 < \xi < 0$ 时， $s_{1,2}$ 为 1 对正实部的共轭复根，阶跃响应为扩大振荡曲线。

5. 纯延迟环节

纯延迟环节输出信号的形状与输入信号的形状完全相同，仅延迟一段时间 τ 。

1.2.4 控制对象、自平衡能力、容量、容量系数

1. 控制对象

控制对象为被控量所在生产设备的局部或全部,是指被控制的生产过程或生产设备。控制对象分为有自平衡能力对象和无自平衡能力对象,单容被控对象和多容被控对象。

2. 自平衡能力

自平衡能力是指对象在受到扰动后,仅依靠自身能力而不依靠任何外加的控制作用就能使被控量趋于某一稳定值的能力。控制对象典型阶跃响应曲线的变化特点是一开始被调量并不立即明显变化,而是有迟延和惯性,在最后阶段,如果被调量不断变化而其变化速度趋近等于一数值,称为无自平衡能力,如图 1-4 (a) 所示;如果被调量在最后阶段能够达到一平衡值,称为有自平衡能力,如图 1-4 (b) 所示。

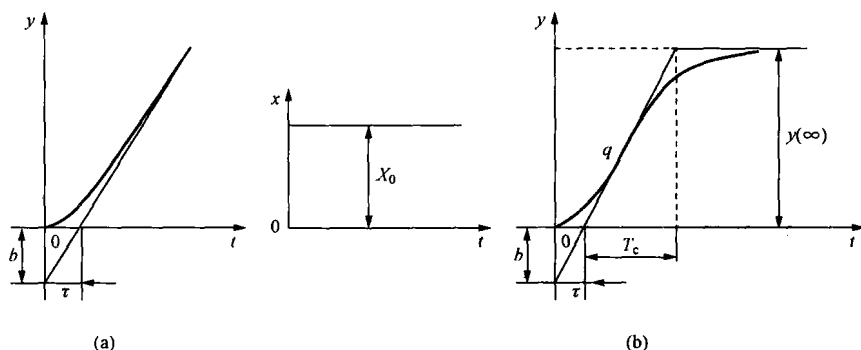


图 1-4 多容对象特征参数

(a) 无自平衡能力; (b) 有自平衡能力

无自平衡能力对象可以看做是积分环节与迟延环节的串联,其特征参数为迟延时间(容积迟延) τ 、反应速度(飞升速度) ε 和反应时间 T_a 。

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{1}{T_a} = \frac{\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=\infty}}{x_0} \\ T_a = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{x_0}{\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=\infty}} \end{cases} \quad (1-16)$$

T_a 反映了对象惯性大小,其值为在阶跃输入作用下,被控量的变化速度由 0 接近于渐近线斜率所需时间。

对于有自平衡能力对象,放大倍数 k 是对象自平衡能力 ρ 的度量, k 越大,说明对象的自平衡能力越差。

$$\rho = \frac{1}{k} = \frac{x_0}{y(\infty)} \quad (1-17)$$

$$\varepsilon = \frac{\left. \frac{dy}{dt} \right|_q}{x_0} = \frac{b}{x_0 t} \quad (1-18)$$

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_q = \frac{y(\infty)}{T_c} = x_0 \varepsilon \quad (1-19)$$

$$T_c = \frac{1}{\varepsilon \rho} \quad (1-20)$$

有自平衡能力对象特征参数为 τ 、 ρ 和 T_c ，或 ε 、 ρ 和 τ 。

3. 容量、容量系数

被控对象储存能量或工质的特性称为容量。只包含一个容积的被控对象称为单容被控对象；包含两个容积的被控对象称为双容被控对象；包含两个以上容积的被控对象称为多容被控对象。容量的特征参数为容量系数，容量系数用来衡量对象存储工质能量的能力，容量系数越大，抵抗扰动的能力就越强。因此，容量系数表达了对象抵抗扰动的能力，数值上等于被控量变化一个单位时，所需对象储存量的变化量，即要使被控量变化一个单位，必须从对象中加入或取出工质或能量的数量。

1.2.5 输入量、标准输入信号

输入到控制系统中，并对被调参数产生影响的信号（给定和扰动值）为输入量。标准输入信号包括脉冲函数、阶跃函数和正弦函数，对应标准输入信号的环节输出响应分别为脉冲响应特性、阶跃响应特性（飞升特性）和频率响应特性。

脉冲响应特性： $y(s) = W(s)$ ，即阶跃响应特性函数是它的脉冲响应特性函数的积分，反之，脉冲响应特性函数是它的阶跃响应特性函数的微分。

频率响应特性： $x(t) = A_x \sin \omega t = A_x e^{j0}$ ， $y(t) = A_y \sin(\omega t + \phi) = A_y e^{j\phi}$ 。

$$W(j\omega) = \frac{A_y}{A_x} e^{j\phi} \quad (1-21)$$

$$W(j\omega) = \frac{b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \cdots + b_1(j\omega) + b_0}{a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \cdots + a_1(j\omega) + a_0} = M(\omega)e^{j\theta(\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega) \quad (1-22)$$

式中 $W(j\omega)$ —— 频率响应特性；

$M(\omega)$ —— 幅频特性；

$\theta(\omega)$ —— 相频特性；

$P(\omega) = M(\omega) \cos \theta(\omega)$ —— 实频特性；

$Q(\omega) = M(\omega) \sin \theta(\omega)$ —— 虚频特性。

1.2.6 被控量、给定值

1. 被控量

表征生产设备运行情况是否正常而需加以控制的物理量，即通过控制所要维持的参数称为被控量或被控参数。被控量标志着生产过程是否符合规定工况。表明工质状态特征的物理量称为工质的状态参数。

2. 给定值

根据生产过程的要求，规定被控量应达到并保持的数值称为被控量的给定值，被控量与给定值偏差大于一定值时发出控制故障信息。

1.2.7 扰动、飞升速度、飞升时间

1. 扰动、内扰、外扰

生产过程中, 各种因素会引起被控量变化, 除控制作用外, 引起被控量变化的其他因素统称为扰动。若扰动发生在闭环系统内部称为内扰; 若发生在闭环系统外部称为外扰。

2. 飞升速度、飞升时间

在阶跃输入信号作用下, 环节的输出响应称为阶跃响应。一般的扰动试验均采用阶跃扰动, 因为这是一种规定的标准形式的扰动, 便于分析, 也是一种最为严重的扰动, 它是控制系统中最为常见的扰动形式。飞升速度指在单位阶跃扰动量作用下, 被控量的最大变化速度。飞升时间又称反应时间, 指在阶跃扰动量作用下, 被控量以最大飞升速度达到稳态值所需时间。控制对象飞升特性试验方法: 在试验前, 要切断控制功能块对控制对象的控制作用, 用手动远方操作, 保持被调量稳定在其给定值附近, 然后用手动远方操作, 突然改变控制机构的位置, 即给控制对象加一阶跃输入信号。

1.2.8 反馈、闭环系统、滞后

1. 反馈

把输出量的全部或部分信号送到输入端的输入方式称为反馈。反馈信号与输入信号极性相同时称为正反馈; 反馈信号与输入信号极性相反时称为负反馈。

2. 闭环系统

系统输出的被控量和输入量之间存在着反馈回路的系统称为闭环系统。

3. 滞后

控制对象受到扰动后, 被控量不立即变化, 而是要迟延一段时间发生变化的特性称为滞后。

1.2.9 执行机构、控制作用、自动跟踪、无扰切换

1. 执行机构、控制作用

由运行人员或其他装置控制的机构称为执行机构。改变控制机构位置, 以改变进入控制对象的工质或能量, 从而控制被控量的作用称为控制作用。输入信号较小时执行机构不动作, 只有输入信号到一定值时, 执行机构才动作, 死区现象过于严重, 可能导致控制系统产生振荡, 使控制品质下降。

2. 自动跟踪、无扰切换

控制指令与执行机构反馈偏差大于一定值时 (一般为 10%) 发出控制故障信息。当系统处于手动状态时, 控制功能块输出始终能自动地与执行机构的输入电流或位置反馈电流保持同步, 称为自动跟踪, 具体实现方法如图 1-5 所示。其中, 参数 INITI 为 PID 模块初始化输入信号, 连接到 AOUT 模块的初始化输出参数 INITO; BCALCI 为反运算输入信号, 在 PID 模块进入控制状态前, 提供初始化输出值, 使切换到控制状态时无扰动, 连接到 AOUT 模块的反运算参数 BCALCO, 当 INITI=1 时, PID 模块的输出跟踪它的 BCALCI。

控制系统从自动状态进入手动状态时, 执行机构应保持在原来的位置, 手动操作在自动控制时执行机构原来的位置上进行; 反之, 当控制系统从手动状态转入自动状态时, 执行机构在原来的位置上接受控制作用的指挥, 然后按被控量的偏差变化的情况实现控制系统对执行机构的控制。符合上述情况的切换即为无扰动切换。