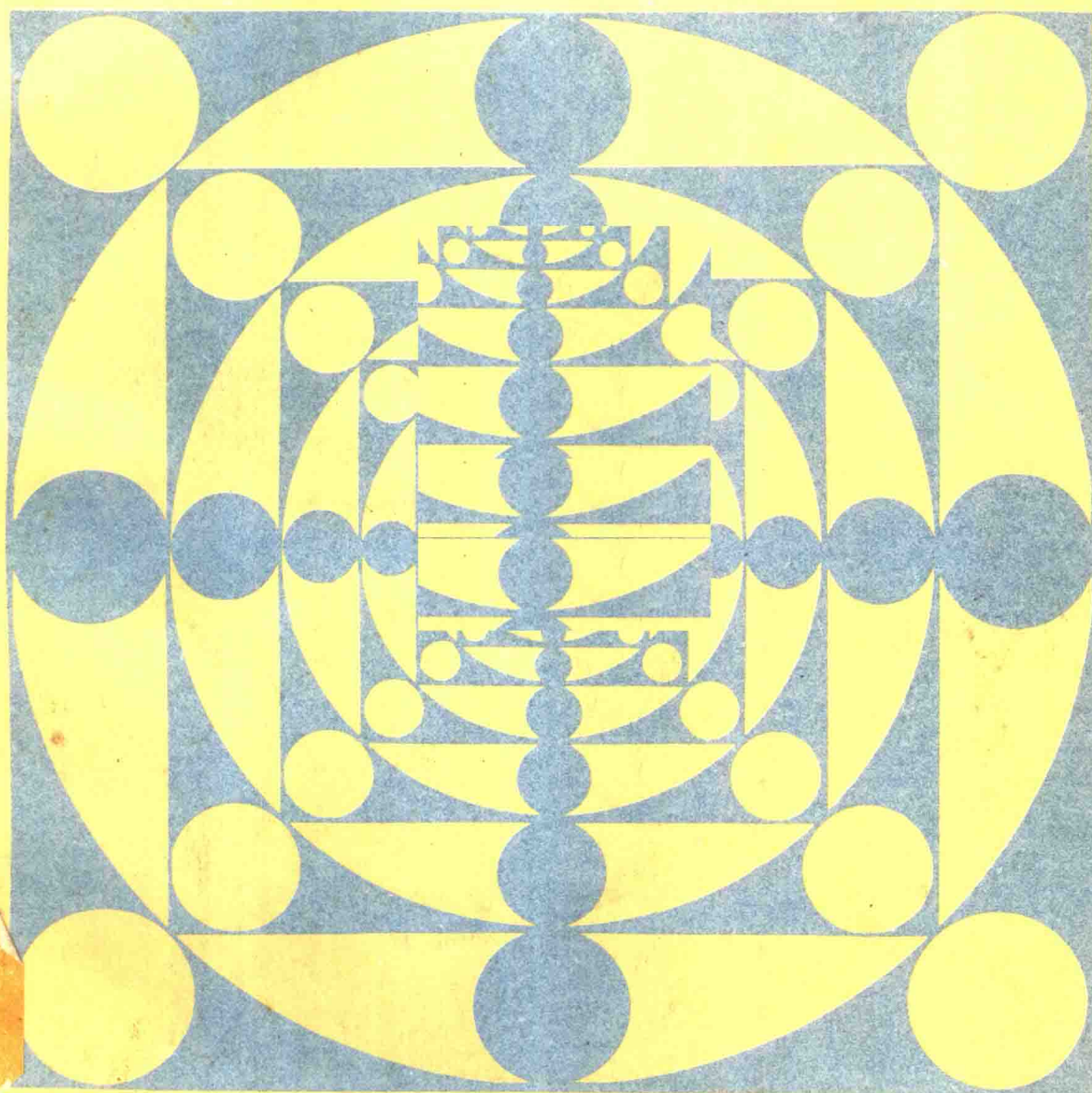


电子计算机应用系列教材 系列教材 系列教材 教材

# 计算机工业控制实用技术

## 最优控制

苏松基 杨火荣 林国彦 编著  
陈兴仁 方茂奎



科学出版社

电V计算机应用系列教材

# 计算机工控制实用技术

## 最优控制

苏松基 杨火荣 林国彦 编著  
陈兴仁 方茂奎

科学出版社

1993

(京)新登字 092 号

### 内 容 简 介

本书为电子计算机应用系列教材之一,书中较全面地介绍了钢厂均热炉群采用微型计算机组成二级计算机控制系统,以实现最优控制的有关基础知识和应用技术。

全书共分九章,第一至三章介绍计算机控制系统的一般概念,分散控制系统的组成和应用,模型的建立和最优化;第四至九章是本书的重点,主要介绍均热炉群最优控制系统的组成,过程控制站和数据通讯的原理和功能,数学模型的实施、现场应用及经济效果分析等。

本书可供在职计算机应用人员阅读。

## 电子计算机应用系列教材 计算机工业控制实用技术 最优控制

苏松基 杨火荣 林国彦 编著  
陈兴仁 方茂奎

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

(邮政编码:100707)

北京市华星计算机公司激光照排

天津市静一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1993 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1993 年 5 月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:0001—3100 字数:353000

ISBN7-03-001356-5/TP·91

定价:13.00 元

## 序

当代新技术革命的蓬勃发展,带来社会生产力新的飞跃,引起整个社会的巨大变革.电子计算机技术是新技术革命中最活跃的核心技术,在工农业生产、流通领域、国防建设和科学研究方面得到越来越广泛的应用.

党的十一届三中全会以来,我国计算机应用事业的发展是相当迅速的.到目前为止,全国装机量已突破三十万台,十六位以下微型计算机开始形成产业和市场规模,全国从事计算机科研、开发、生产、应用、经营、服务和教学的科技人员已达十多人,与1980年相比,增长了近八倍.他们在工业、农业、商业、城建、金融、科技、文教、卫生、公安等广阔的领域中积极开发应用计算机技术,取得了优异的成绩,创造了显著的经济效益和社会效益,为开拓计算机应用的新局面作出了重要贡献.实践证明,人才是计算机开发应用的中心环节.我们必须把计算机应用人才的开发与培养放在计算机应用事业的首位,要坚持不懈地抓住人才培养这个关键.

从目前来看,我国计算机应用人才队伍虽然有了很大的发展,但是这支队伍的数量和质量还远不适应计算机应用事业发展的客观需要,复合型人才的培养与教育还没有走上规范化、制度化轨道,教材建设仍显薄弱,培训质量不高.因此,在国务院电子信息系统推广应用办公室领导、支持下,全国三十五个省、市、自治区、计划单列市计算机应用主管部门共同组织118所大学和科研单位的400多位专家、教授编写了全国第一部《电子计算机应用人才培养大纲》以及与之配套使用的电子计算机应用系列教材,在人才培训和开发方面做了一件很有意义的工作,对实现培训工作规范化、制度化将起到很好的推动作用.

《电子计算机应用人才培养大纲》和电子计算机应用系列教材贯穿了从应用出发、为应用服务,大力培训高质量、多层次、复合型应用人才这样一条主线.大纲总结了近几年各地计算机技术培训正反两方面的经验,提出了计算机应用人才的层次结构、不同层次人才的素质要求和培训途径,制定了一套必须遵循的层次化培训办学规范,编制了适应应办学规范的“课程教学大纲”.这部大纲为各地方、各部门、各单位制定人才培养规划和工作计划提供了原则依据,为科技人员、管理人员以及其他人员学习计算机技术指出了努力方向和步骤,为社会提供了考核计算机应用人才的客观尺度.“电子计算机应用系列教材”是培训大纲在教学内容上的展开与体现,是我国目前规模最大的一套计算机应用教材.教材的体系为树型结构,模块化与系统性、连贯性、完整性相兼容,教学内容注重实用性、工程性、科学性,并具有简明清晰、通俗易懂、方便教学、易于自学等特点,是一套很好的系列教材.

这部大纲和系列教材的诞生是各方面团结合作、群策群力的结果,它的公开出版和发行,对计算机应用人才的培训工作将起到积极的推动作用.希望全国各地、各部门、

各单位广泛运用之套系列教材，发挥它应有的作用，并在实践中检验、修改、补充和完善它。

通过培训教材的建设，把培训工作与贯彻国家既定的成人教育、函授教育、电视教育和科技人员继续工作教育等制度相结合，逐步把计算机应用人才的培训工作引向规范化、制度化轨道，为培训和造就大批高素质、多层次、复合型计算机应用人才而努力奋斗，更好地推动计算机应用事业向深度和广度发展。

李祥林

一九八八年十月十七日

## 前 言

自 70 年代以来,人们对轧钢均热炉的操作及钢坯的加热质量提出了新的要求,因而均热炉的模型化与计算机控制开始受到重视.与此同时,电子计算机硬、软件技术的迅速发展也为均热炉计算机最优控制提供了条件.所以,近年来国际上在均热炉的模型化及计算机控制的研究方面取得了一定的进展,并研制成功了一些具有实用价值的计算机控制系统.但是,该领域的研究还很不深入,多数学者的研究工作仍停留在理论和仿真阶段,研究成果在工程上获得成功应用的实例也不多.总之,均热炉的计算机最优控制,还有许多问题有待解决,例如开发具有工程应用精度和一定实时性能的数学模型,研究适应性强的均热炉计算机控制策略等.

国家机械工业委员会重庆工业自动化仪表研究所研制的二级计算机控制系统,采用了浙江大学吕勇哉教授研究的钢锭轧前处理过程的数学模型,在某钢厂的 12 座均热炉群获得了成功的应用,为均热炉的计算机最优控制积累了经验.本书就是在这一成功应用的基础上编著而成的.其目的是使在职计算机应用人员和过程控制人员对均热炉计算机最优控制有较为详细的了解,并可进一步扩展到其他应用领域.本书介绍了一定基础理论知识,但更多地突出了应用实例,在文字叙述方面也力求通俗易懂,简洁明了.

全书共分九章.第一章主要介绍计算机控制系统的一般知识.第二章着重介绍分散控制系统产生的背景和特点、分散控制系统的组成及应用.第三章主要叙述模型的建立、最优控制原理、静态最优化控制方法及应用.第四章结合具体实例介绍均热炉的工艺要求、最优控制系统的构成方案,系统功能设计与硬件配置.第五章较详细地介绍了过程控制站的构成、硬软件的配备及操作要点.第六章介绍用于均热炉群计算机控制远程通讯的 DJK-L 型数传器的原理、连接方法以及它的应用.第七章主要介绍 CRT 操作站的功能、构成、画面设计与调用.第八章阐述单一数学模型的建立、钢锭处理过程的计算机仿真、模型的试验验证及软件实施.第九章对实验室模拟试验、现场应用及经济效益作了介绍.全书的重点是介绍均热炉群的计算机最优控制.因此,从第四章到第九章是结合这一具体应用实例来编写的,而前三章则是计算机最优控制的基础知识.这样编排在于使全书前后呼应,有机地统一,使读者易于理解和掌握.

鉴于计算机控制系统领域宽阔,发展迅速,加上运用技巧又各不相同,为集思广益,我们采取了分头执笔、集中把关的形式进行编写.第一、二、三、六章由杨火荣执笔;第四、五、九章由陈兴仁执笔;第七、八章由方茂奎、林国彦和苏松基执笔.全书最后由苏松基和杨火荣负责统编,并由苏松基审核和修改.编审者都是重庆工业自动化仪表研究所多年从事计算机控制与管理工作的工程技术人员,对系统分析、设计、仿真以及现场投运都有一

定的实践经验。因此,本书的编写也可以说是作者自身工作的总结。当然,本书也参阅了国内外有关文献,选材时注意了先进性、系统性和实用性。

在编写过程中,我们得到了重庆工业自动化仪表研究所有关部门和领导、重庆科技领导小组及有关人员的大力支持和帮助,在此一并表示谢意!

限于编审者的水平,书中难免有许多不妥之处,恳切希望读者批评指正。

# 目 录

第一章 计算机控制系统	1
1.1 计算机控制系统的一般概念	1
1.2 计算机控制的发展简史和控制系统分类	14
1.3 微型机实时控制系统的组成	23
1.4 计算机控制系统设计的进程与人员配备	26
第二章 分散控制系统	32
2.1 概述	32
2.2 分散控制系统的组成	35
2.3 分散控制系统的应用	51
第三章 监督计算机控制与最优化	65
3.1 模型问题	65
3.2 最优控制原理	69
3.3 静态最优化控制	79
第四章 二级计算机控制均热炉群最优控制系统的构成及设计	93
4.1 均热炉工艺要求	93
4.2 最优控制系统的构成	94
4.3 系统功能设计与硬件配置	106
第五章 过程控制站	109
5.1 过程控制站的构成	109
5.2 过程控制站硬件	113
5.3 过程控制站软件	124
第六章 数据通讯	139
6.1 概述	139
6.2 DJK-L 型异步基带数传器的基本原理	147
6.3 DJK-L 型数传器与微机系统通讯网络的构成	151
6.4 DJK-L 型数传器的现场应用及若干问题	157
第七章 均热炉最优控制的 CRT 操作站	159
7.1 CRT 操作站概貌	159
7.2 CRT 操作站的构成	160
7.3 CRT 操作站画面设计	166
7.4 CRT 操作站的功能	174
第八章 钢锭轧前处理过程数学模型的实施	178



8.1 概述	178
8.2 单一数学模型的建立	178
8.3 钢锭处理过程的计算机仿真	185
8.4 模型的试验验证	186
8.5 数学模型的工程实施	189
第九章 现场应用及经济效益	199
9.1 实验室模拟试验	199
9.2 现场应用情况	206
9.3 经济效益	207
附 录	212
A. 热电偶测温的信号处理	212
B. 分散系统综合指标一览表(美国部分)	230
C. 流量校正系数计算与校正方法	234
D. 本书中非法定计量单位与法定计量单位换算表	237
参考文献	238

# 第一章 计算机控制系统

本章首先考察过程控制变量问题和过程控制的常规方法,进而考察计算机用于过程控制的新型控制方法、发展历史、基本控制原理和控制方式,并简单介绍微型机实时控制系统的一般组成,最后叙述计算机控制系统设计的主要进程和人员配备.

## 1.1 计算机控制系统的一般概念

### 1.1.1 常规控制系统

#### 1. 过程控制变量

常规模拟仪表用于过程控制已有多年的历史,计算机用于过程控制也为时不短,而且也有不少成功的报道.近几年来,微处理机的迅速发展和它在石油、化工、冶金、电站及轻

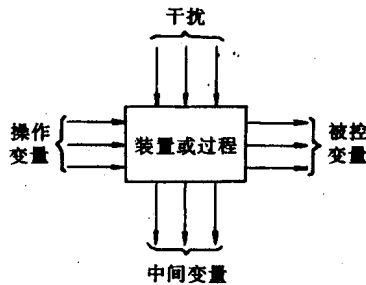


图 1.1 过程的一般描述

工等国民经济部门的成功应用,说明过程控制更加离不开计算机.无论是常规控制系统,还是计算机控制系统,都要研究如下四种基本变量(见图 1.1):

**操作变量** 例如输入的原料流量、容器中的蒸汽压力等,这些变量的值可以通过常规或数字控制系统来调整.

**干扰** 它们是一些会影响过程运行,而不能通过控制系统来调整的变量,例如原料的成分、环境空气温度等.在这类变量中,有些变量是能够被测量的,而有一些则不能被我们所知.

**被控变量** 它们是能真正反映装置(或过程)性能的变量,例如生产率和产品质量等.因而,控制系统必须保持这些变量的值为某个期望值(常称为给定值或设定值).通常的控制问题是在出现干扰时就调整操作变量以使被控变量维持在规定的期望值上.有些

被控变量能直接被测量,但有些则必须通过其他变量的测量值来演算得到,这个任务用计算机来完成比用模拟仪表要优越得多.

**中间变量** 这些变量出现在过程的某些中间点,例如水夹套中的温度和中间物料的组分. 在决定采用什么控制作用时,控制系统常常能够有效地利用这些中间变量.

一个典型的设备或生产过程,上述几类变量中的每一类都有几个参数,所以过程单元的控制不是一件简单的事情. 另外,过程特性首先要取决于设备运行的稳定条件(即设备特性具有严重的非线性),其次,即使运行的稳态条件不变,而设备特性也随时间而改变(即设备特性是非平衡的). 因此,要由过程特性推导出过程数学模型是极为困难的. 正是由于有这些困难,以及数字计算机在收集大量数据并进行分析,再根据所得结果作出逻辑判断方面的能力,使得计算机对过程控制的应用具有很大的吸引力.

## 2. 闭环控制系统

在探讨计算机控制系统之前,了解一下过程控制的常规方法是有益处的. 工业生产中的自动控制系统随控制对象、控制规律和所采用的控制器结构等的不同而有很大的差别,但在常规的自动控制系统中,最基本的控制系统是简单的反馈控制系统,如图 1.2 所示. 在这种系统中,测量元件对被控对象的被控参数(如温度、压力、流量、转速、位移等)进行测量,变送单元将被测参数变换成一定形式的信号,反馈给控制装置,控制装置将反馈回来的信号与给定信号进行比较,如有误差,控制装置就产生控制信号驱动执行机构工作,使被控参数的值与给定值保持一致. 这种控制,由于被控变量是控制系统的输出,被控变量的变化值又反馈到控制系统的输入端,与作为系统输入量的给定值相减,所以就称为闭环负反馈系统,它是自动控制的基本形式.

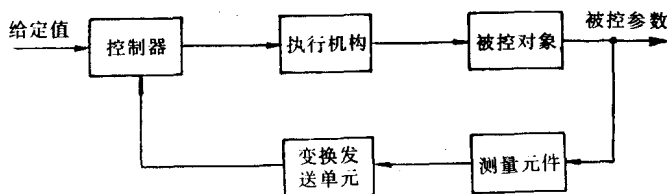


图 1.2 闭环控制系统框图

## 3. 开环控制系统

开环控制系统如图 1.3 所示,它与闭环控制系统不同的是不需要被控对象的反馈信号,它的控制器直接根据给定信号去控制被控对象工作. 这种系统不能自动消除被控参数偏离给定值带来的误差. 控制系统中产生的误差全部反映在被控参数上. 它与闭环控制系统相比,其控制性能要差些.

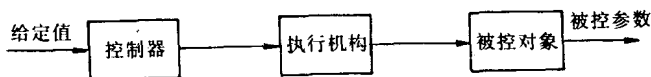


图 1.3 开环控制系统框图

#### 4. 控制系统的基本要求

当系统的给定值作阶跃变化时,可以得到如图 1.4(b)、(c)、(d)所示的不同输出响应曲线. 图 1.4(b)、(c)所示的响应虽然不是理想的或最佳的,但它说明了控制装置能使这一系统的被控变量等于或接近于给定值. 而图 1.4(d)所示的响应则是很不令人满意的,它说明该系统是不稳定的. 因此,对控制系统的第一个要求就是一定要使系统具有像图 1.4(b)、(c)那样的稳定性.

第二个基本要求是系统振荡周期(或称调节周期)为最小. 如果系统的响应是趋于稳定的衰减振荡响应,那末,就希望这一响应总的面积-误差乘积面积尽可能小. 使这一面积为最小的实际方法可用  $1/4$  衰减比来实现.  $1/4$  衰减比被定义为有衰减的正弦波相邻两个波峰幅值之比为  $4:1$ . 一个振荡循环所需的时间称为振荡周期,它们均可见图 1.5. 对于一个近似于  $1/4$  衰减比的稳定系统,评价它的优劣可看它的振荡周期的大小,两个都是  $1/4$  衰减比的系统响应如图 1.6 所示,显然该图中的系统 B 的振荡周期短,时间-误差乘积面积较小. 从某种意义上讲,这一乘积面积小,可以说明这一系统的响应性能好,所以,最小的振荡周期是我们所希望的.

第三个基本要求是响应的初始峰值(或超调)要最小. 假定都是  $1/4$  衰减比和相同振荡周期的两个系统如图 1.7 所示. 从该图中可以看出,系统 B 的超调小,所以时间-误差乘积面积小,也就是说,最小的初始峰值也是我们所希望的.

稳定性、振荡周期、初始峰值这三者是闭环控制系统需要着重考虑的三个品质指标. 这三者都取决于构成系统每一环节的特性,以及它们对于给定值变化和扰动值变化的关系.

此外,对于要求无静态偏差或小静态偏差的系统,静差也是值得考虑的因素.

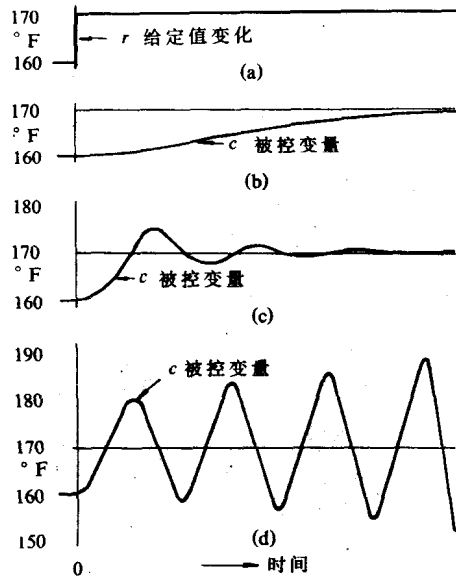


图 1.4 被控变量的三种响应

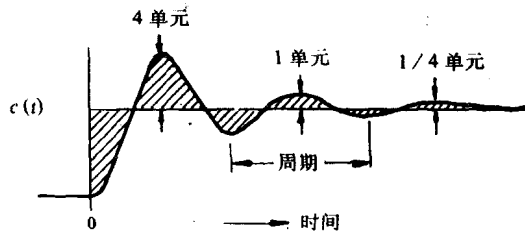


图 1.5 时间-误差乘积面积和  $1/4$  衰减比

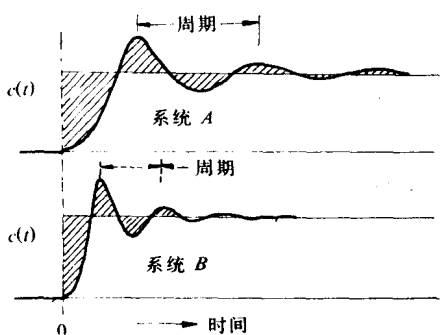


图 1.6 不同周期的时间-误差乘积面积

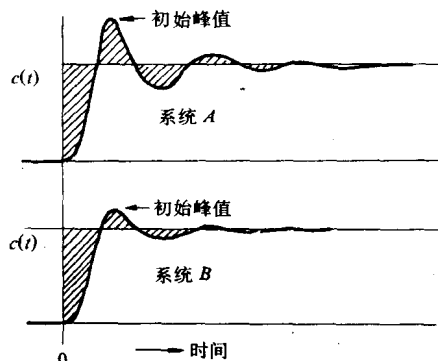


图 1.7 不同超调的时间-误差乘积面积

## 5. 控制规律

从图 1.2 中可以看出,自动控制系统的基本功能是信号的检测、变换、传递、比较和运算. 这些功能由检测变送装置、控制装置和执行装置来完成,控制装置是控制系统中最重要的部分,它从质和量两方面决定了控制系统的性能和应用范围. 控制装置可以有許多控制规律,常用的控制规律有 P(比例)、PD(比例微分)、PI(比例积分)、PID(比例积分微分). 选择控制规律,则需要根据被控对象特性和系统控制性能要求而定.

一个典型的工厂或一个大型的设备,其控制系统少则几个、十几个,多则几十个、几百个,因而也需要相应数量的控制装置. 无论是用气动仪表还是用电动仪表构成的常规模拟控制系统,从根本上来讲,最主要的缺点是缺乏灵活性. 也就是说,控制系统的功能和为了实现这些功能而需要的硬件几乎是一一对应的. 这就给控制系统设计者带来如下几个问题:

- (1) 设计方案必须能用现有的模拟设备来实现.
- (2) 控制方案的修改必须更换模拟设备.
- (3) 对多功能系统的设计,必须采用名目繁多的模拟设备.

在 50 年代中期,控制系统的设计者开始希望将数字计算机作为克服上述问题的一种工具. 这样,任何控制方案都可以程序化. 方案的各种修改只要简单地改变程序就可以了,一台计算机可以代替很多的模拟设备. 正是基于这些目的,计算机控制系统才日益得到发展.

### 1.1.2 计算机控制系统

#### 1. 基本原理

如果把图 1.2 中的控制装置用计算机来代替就可以构成计算机控制系统,其基本框图如图 1.8 所示. 如果计算机是微型计算机,那就组成了微型计算机控制系统. 计算机控制系统也和一般自动控制系统一样,也有开环和闭环两种.

控制系统中引进计算机,就可以充分运用计算机强大的计算、逻辑判断和记忆等信息加工能力. 只要运用机器的各种指令,就能编出符合某种控制规律的程序. 中央处理器执

行这样的程序,就能实现对被控参数的控制.而在一般的控制系统中,系统的控制规律由硬件线路产生,改变控制规律就要改变硬件线路(即更换硬件).而在计算机控制系统中,控制规律的改变只要改变程序就可以了.

在计算机控制系统中,计算机输入和输出信号都是数字信号,因此在这样的控制系统中,需要有将模拟信号转换为数字信号的 A/D 转换器,以及将数字控制信号转换为模拟控制信号的 D/A 转换器.

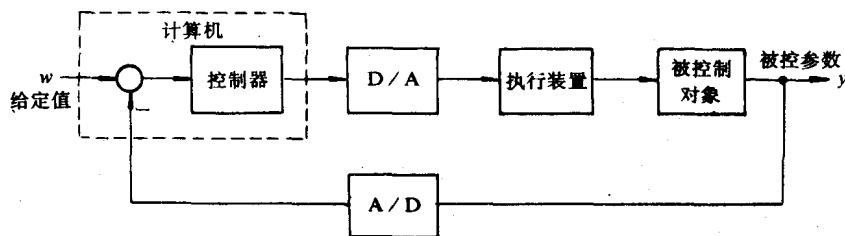


图 1.8 计算机控制系统基本框图

## 2. 控制过程

计算机控制系统,从本质上看,它的控制过程可以归结为以下三个步骤:

**实时数据采集** 对被控参数的瞬时值进行检测,并输入.

**实时决策** 对采集到的表征被控参数的状态量进行分析,并按已定的控制规律决定进一步的控制进程.

**实时控制** 根据决策,适时地对控制机构发出控制信号.

上述过程不断重复,使整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作,并且对被控参数和设备本身出现的异常状态及时监督和作出迅速处理.对中央处理器来讲,控制过程的三个步骤实际上只是执行算术、逻辑操作和输入、输出操作而已.

## 3. 有关“在线”、“离线”和“实时”的概念

在上述计算机控制系统的一般概念中,计算机直接连在系统中工作,而不必通过其它中间记录介质,如磁带、磁盘、穿孔带/卡等来间接对过程进行输入/输出及决策.生产过程设备直接与计算机连接的方式,叫做“联机”方式或“在线”方式;生产过程设备不直接受计算机控制,而是通过中间记录介质,靠人进行联系并作相应操作的方式,叫做“脱机”方式或“离线”方式.“离线”方式不能实时地对系统进行控制.

所谓“实时”是指信号的输入、计算和输出都要在一定时间范围内完成,即计算机对输入信息应以足够快的速度进行处理,并在一定的时间内作出反应或进行控制.超出了这个时间,就失去了控制的时机,控制也就失去了意义.实时的概念不能脱离具体过程,如炼钢炉的炉温控制,延迟一秒,仍然认为是实时的,而一个火炮控制系统,当目标状态变化时,一般必须在几毫秒或几十毫秒之内及时控制,否则就不能击中目标了.实时性的指标,涉及到如下一系列的时间延迟:一次仪表的延迟,过程量输入的延迟、计算和逻辑判断的延迟、控制量输出的延迟,数据传输的延迟等等.一个在线的系统不一定是一个实时的系统,

但一个实时控制系统必定是在线系统. 例如, 一个只用于数据采集的微型机系统可以是在线系统, 但不一定是实时系统, 而计算机直接数字控制系统则必须是一个实时系统.

#### 4. 计算机控制系统的特点

一般所述的计算机控制系统通常为计算机集中控制系统, 它是一种多目的、多任务的控制系统. 也就是说, 它把各种各样的任务都交给一台计算机, 利用计算机的高速分时多路处理特点, 完成对现场的直接控制, 这种计算机控制系统与常规仪表控制系统比较, 具有如下特点.

常规仪表控制系统只能实现 PID 控制和简单的串级、前馈控制, 控制精度和速度受到限制, 也难以实现分级控制. 而计算机控制系统则不仅能实现简单的 PID 控制, 而且能实现复杂的控制运算, 如多变量解耦控制、最优控制、自适应控制等. 由于它具有快速反应和高精度的优点, 因而具有很高的控制精度. 由于它具有记忆、判断功能, 因而计算机控制系统不仅能对过程进行连续控制, 同时也能实现逻辑控制功能. 有些过程(如大纯滞后、各参数相互关联紧密的对象、被控参数需经计算才能得出间接指标的对象等), 用常规仪表系统往往得不到理想的结果, 而用计算机系统则效果比较好.

常规仪表控制系统的人-机联系是通过中央控制室的仪表屏上表盘来实现的. 随着生产规模的扩大, 中央控制室的仪表屏越来越多, 难以实现集中监视和集中操作. 而计算机控制系统则有很很好的人-机联系功能. 计算机所控制的过程信息可以在一台或多台 CRT 屏幕上显示出来, 并可以通过控制台键盘进行操作, 因而简化了操作手段. 另外, 屏幕上还可以显示控制过程的模拟图和趋势分析, 使操作者一目了然, 心中有数.

从系统组成来看, 常规仪表控制系统一旦组成, 就很难加以扩展, 改变系统的控制方案也很困难. 计算机控制系统虽然可以解决上述问题, 但也存在不少弱点: 由于控制任务集中于一台计算机, 一旦失效就会造成整个过程瘫痪, 甚至导致破坏性事故. 因而对计算机的可靠性要求非常苛刻. 为解决可靠性问题而采用冗余设备又会使投资成倍增加. 由于目前的过程变送器和执行器都是模拟式的, 因而在采用计算机控制时需要有输入、输出通道, 这就增加了设备的复杂性. 扩展现有系统和修改方案要增加控制程序和修改控制程序. 对于大型控制系统来说, 应用程序比较复杂, 修改起来也不是容易的事. 计算机控制系统的维护性也不如常规仪表控制系统好.

很多计算机控制系统都要求有比较精确的对象模型, 对于大规模工业过程来说, 要做到这一点是很困难的. 大规模工业过程对计算机的容量和计算速度要求也是很高的, 要实现这一点也有一定的难度.

由于计算机控制系统的上述特点, 以及工业过程的日趋发展, 从 1972 年起, 国外各著名仪表公司为了开发市场, 谋求发展新的自动化系统, 已陆续开发了各种分散控制系统.

#### 1.1.3 用计算机实现的新型控制方法

计算机控制系统比常规仪表控制系统昂贵, 这是人们普遍承认的事实. 但是, 正如前面所指出的, 在常规仪表控制系统中, 由于硬件的局限性, 难以采用新型的控制方法, 而大多数情况下, 计算机控制系统则可以采用如下一些新型控制方法以改善控制品质. 所以, 即使费用较高, 从性能价格比来看也是合算的.

## 1. 前馈控制

前馈控制系统是这样的一种系统,当被测的干扰进入过程时,它预先调整控制作用,使被控变量保持在给定值上.前馈控制与反馈控制的差别在于:反馈控制作用进行动作的时间是被控变量偏离它们的给定值之后,而前馈控制作用进行动作的时间是在控制变量偏离它们的给定值之前.图 1.9 可以说明这些概念.

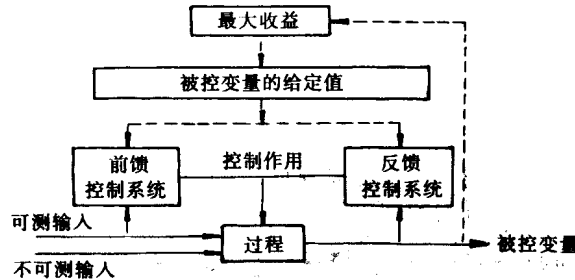


图 1.9 前馈与反馈控制系统(复合控制系统)

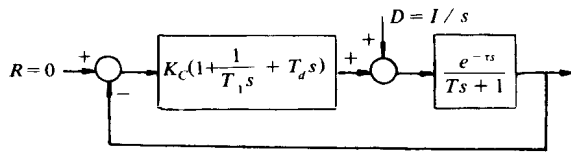
采用前馈控制的理由是反馈控制有两个明显的缺点:第一,被控变量在偏离给定值之前,控制系统没有、也不可能对系统的偏差起校正作用.第二,控制系统所采取的任一校正作用,非要等改变的条件已传播到整个控制回路(即经过回路中每个滞后环节)之后才能觉察出来.这就意味着不仅被控制变量必须偏离给定值,而且由于信号要在控制回路中传输,使校正作用产生了延迟.而前馈控制则可以克服上述两个缺点.

前馈控制特别适合下述主要过程或对象:第一,具有大幅度的频繁干扰的过程.这种过程使反馈控制不能达到令人满意的控制效果.如果这些干扰能直接或间接地测量,那末,采用前馈控制就可以使系统的控制品质得到改善.第二,具有大滞后的过程.由于反馈控制存在上述的第二个缺点,过程的大指数滞后或大纯滞后时间更导致了信号校正作用的延迟.图 1.10 说明了大纯滞后或大指数滞后对反馈控制品质的影响.如果干扰可以精确地测量,并且过程的模型建立得很完善,则图 1.10 所示三个过程采用前馈控制将是很完善的.像蒸馏塔、造纸机、反应器、窑、炉等具有大指数滞后和大纯滞后的过程和对象,采用前馈控制是行之有效的.

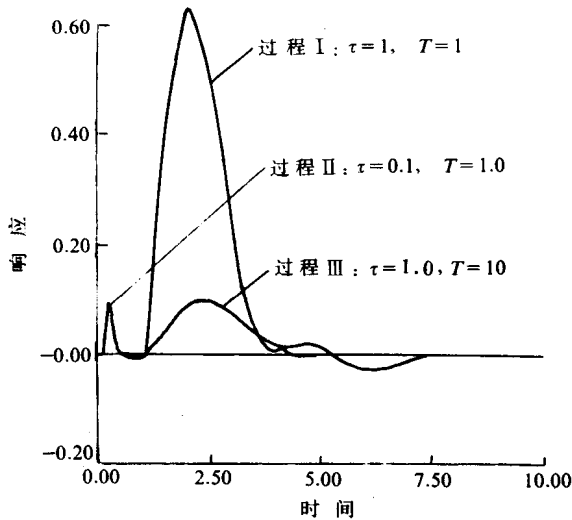
然而,前馈控制并不能单独应用,它必须和反馈控制相结合.这是因为单纯前馈控制也有缺点,而这些缺点正好可以用反馈克服.首先,前馈控制装置受到数学模型和设备精度的限制.这些不精确的因素可能造成前馈被控变量有静态余差,用反馈积分控制则可以消除静差.其次,前馈控制装置并不能补偿不可测量的干扰,而反馈控制装置却能够补偿.这就说明前馈和反馈的互相结合,就能彼此弥补对方的不足.

实现前馈-反馈控制还有两个具体问题.第一,必须将某种类型的控制设备与各个被测干扰联结起来;第二,设计师必须透彻地了解这些干扰对被控变量的影响.由于这两点,使得前馈-反馈控制的应用要比常规的反馈控制困难得多.因为反馈系统只需要一个控制装置,而且被控变量的任何偏离都将引起校正作用——不管这个系统是什么样的,也不管





(a)系统的方块图



(b)最小 ITAE 的响应曲线

图 1.10 大纯滞后和大指数滞后对反馈控制的影响

设计师是否知道为什么会发生偏差以及偏差是如何发生的。尽管存在上述困难,以及投资费用的稍许增加,但前馈-反馈控制的应用还是合算的。由于采用了计算机,它的实现也是可能的。常见的前馈-反馈控制,有静态前馈控制系统(见图 1.11)和动态前馈控制系统(见图 1.12)。无论是静态前馈控制还是动态前馈控制,都需要有过程模型。如果要求的是精确模型,则它可能是很复杂的。如果所要求的是近似模型,则它可能是比较简单的。动态前馈控制要求精确模型,它要求用大型计算机实时地解出微分方程。静态前馈控制只要求简单模型,它只要求用简单计算机解出静态代数表达式。图 1.13 是采用简单计算机的静态前馈-反馈控制系统图。

## 2. 串级控制

串级控制的应用已比较多。图 1.14 是一个简单控制系统,其控制效果并不令人满意,主要原因是没有考虑燃料流量变化所造成的影响。为了弥补这一缺点,采用了如图 1.15 所示的串级控制系统。其中调节器 TC 的输出仍由温度误差来决定,这个输出作为调节器 FC 的给定值。如果燃料流量有波动,则 FC 在温度开始变化之前就校正流量,从而提高了系统的控制品质。

采用常规仪表也可以实现串级控制,但需要两台调节器和两台变送器。由于计算机具有分时处理能力,实现串级控制是很容易的。