

计算机应用技术丛书

微机在过程控制 中的应用

徐用懋 颜纶亮 等 编著

清华大学出版社

计算机应用技术丛书

微机在过程控制中的应用

徐用懋 颜纶亮等 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是作者们几年来从事生产过程微计算机控制的教学、科研和技术开发工作的经验和成果的总结。前两章讨论 PID 数字控制器的程序设计和最佳参数整定,后六章讨论了冶金加热炉、工业锅炉、毛料染色、合成氨、建材热工测试和流量测量等六个不同生产过程的微计算机检测和控制系统。文中着重于工作原理、系统结构、控制方案、硬件软件组织、接口配置和系统调试方面的阐述,尽量避免繁复乏味的数学推导,是一本注重实用的微计算机过程控制技术的参考书,可供已经或准备从事这方面工作的技术人员参考,也可供大专院校有关专业选作计算机应用技术课程的教材。

计算机应用技术丛书

微机在过程控制中的应用

徐用懋 颜纶亮等 编著

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京京辉印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本 787×1092 1/32 印张: 10¹/₂。 字数: 235千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 0001-5000

ISBN 7-302-00499-4/TP·177

定价: 2.00 元

前 言

从第一台电子计算机出现到今天，仅有四十多年的历史，从硬件角度看，已经历了电子管、晶体管及中大规模集成电路几代的发展。每隔若干年，计算机的运算速度、内存容量、可靠性都有大幅度提高，体积和售价都有大幅度降低，软件技术也有迅速的发展。如果说，把前两代计算机用于过程控制还仅仅是一种技术追求的话，那么微计算机的出现就使这种追求变成现实。可以说，微计算机为过程控制提供了极为理想的物质基础。国外先进的工业化国家中，微计算机在过程控制中的应用已进入到工程化阶段。近年来国内有关方面也已经相当重视，开展了许多有益的工作。

我们近几年来结合实际，在生产过程微计算机控制的教学、科研和技术开发诸方面都作了一些工作，取得了一定的成果和经验，也确实体会到微计算机控制对于提高产品的产量和质量、降低原材料消耗、节约能源、保证生产安全及改善劳动条件等都是很有实际效益的，尤其对于复杂控制系统的设计和实施，微计算机较之常规工业自动化仪表更具突出的优越性。为此，我们把若干年来工作中的经验和成果写成本书。

全书分成八章。前两章讨论了PID控制算法的程序实现和参数整定方法，PID反馈控制是过程控制系统中应用最广泛的控制算法。这是因为，这种控制算法的工程实现（设计、安装和调整）不必以被控对象精确的数学模型为前提。

PID控制规律本身有较强的自适应能力,即当被控对象动态特性参数在一定范围内变化时,系统仍能得到满足生产工艺过程的动态品质指标,而且已经有一整套既简便又行之有效的现场工程整定办法和经验,容易为广大技术人员所接受。为此,本书单独成章来讨论它。后六章分别介绍六个微计算机过程控制的实例。硬件方面,有采用单回路和多回路数字调节器的,也有自行从头开始设计的具有一定覆盖范围的工业控制机,还有采用单板机加以扩充的;软件方面,有采用组态式程序设计的,也有采用汇编语言的;应用场合方面,涉及到冶金、化工、印染、农药和建材等行业。第三章讨论用数字调节器组成冶金加热炉控制系统、两级计算机控制以及实现优化控制的数学模型方法。第四章以工业燃煤锅炉为例,介绍设计多功能多回路基础级DDC工业控制机的方法,着重讨论过程通道的硬件设计和软件组织。第五章是微计算机在程序自动给定控制方面的应用,这是另一种典型,以毛料染色工艺为例。硬件也是从选择CPU开始自行设计的。本章着重讨论控制算法的选择。第六章以合成氨为例介绍单板机在多台设备综合控制中的应用,包括顺序开关控制、联锁保护和连续过程量的自动控制。第七章介绍单板机在建材工业热工测试系统温度控制和参数测试中的应用,着重解决动态过程无超调的程序实现方法。第八章介绍单板机在流量计量管理中的应用。

在每个实例中,除了必要的工艺背景介绍以外,着重阐述技术方案、系统结构、软件组织、接口电路和系统调试方法等方面的问题,目的在于说明实施微计算机过程控制系统的方法和经验。为节省篇幅,软件部分只借助于程序流程图说明设计方法,都略去了程序清单,有兴趣的读者可另与我

们联系。

本书第一章由王锦标执笔，第二、三章由徐用懋和何镇湖执笔，第四章由颜纶亮执笔，第五章由徐博文、范全义和杨佃福执笔，第六章由俞梅芳执笔，第七章由曹玉金执笔，第八章由范全义执笔，全书由徐用懋和颜纶亮统稿。由于我们学识有限，时间仓促，错误和不妥在所难免，恳请读者不吝指正。

编著者

1989年2月完稿于清华大学

《计算机应用技术丛书》

出版说明

目前，计算机特别是微型计算机已经应用到工业、农业、商业、交通、教育、医疗、政府机关、服务行业以至日常生活的所有领域。各类工程技术人员、干部正越来越多地和计算机打交道，迫切需要有关计算机特别是微型计算机应用技术及典型实例的参考书。为此我们约请清华大学等单位工作在计算机应用第一线的教师和工程技术人员编写了《计算机应用技术丛书》，结合实例详细地阐述计算机应用技术，分册出版，意在推广，注重实用。

《计算机应用技术丛书》即将出版的几册书汇集了计算机主要是微型机在控制和检测仪表、机械设备、生产过程自动化设备以及系统仿真等方面的应用实例。《丛书》不是去罗列众多的应用实例，而是选择那些有代表性的典型实例，向读者介绍如何应用计算机特别是微机对一台仪器仪表、一系列过程、一个简单的或复杂的系统实现计算机控制、监测或仿真。作者力求既有工作原理的叙述，又有具体应用技术的说明，详细介绍实例的硬件结构、软件设计、接口技术和系统调试方法等。读者通过这些实例可以学习解决具体问题的方法、措施和经验，提高实际动手解决具体问题的能力。具有大专以上文化程度的读者在工作、学习中参考此丛书会

感到方便实用。甚至具有中等文化程度的读者也能学习参考丛书中的有关内容,得到启发和帮助。

《计算机应用技术丛书》将陆续出版各分册,我们欢迎正在或将要从事计算机应用和“机电一体化”工作的科技人员、大专学生、研究生,干部都来关心丛书,积极提出意见,共同努力把丛书越办越好,为我国计算机特别是微型计算机应用技术的普及和提高作出贡献。

《计算机应用技术丛书》编辑组

《计算机应用技术丛书》部分书目

微型计算机控制应用实例集	黄胜军等	2.00元
微机绘图软件AUTOCAD	吕凤翥等	3.30元
微机控制系统设计选	钱宗华等	3.60元
计算机仿真应用	熊光楞等	2.85元
数据采集和监控中的微机应用	李志忠等	2.10元
微机在过程控制中的应用	徐用懋等	2.00元

目 录

前言

第一章 PID 数字控制器的设计	1
§1.1 PID 控制规律	1
§1.2 PID 数字控制器的算式	10
§1.3 PID 数字控制器算式的改进	17
§1.4 PID 数字控制器的实现	22
参考文献	40
第二章 离散过程控制系统品质指标的选择及数字调 节器最佳参数的整定方法	41
§2.1 最佳控制过程品质指标的选择	43
§2.2 常规调节器参数的整定方法	50
§2.3 数字调节器最佳参数的整定方法	56
§2.4 采样周期 T_s 对数字调节器最佳整定参数的影 响	63
参考文献	67
第三章 工业窑炉的微计算机控制	69
§3.1 工业窑炉控制现状及节能潜力	70
§3.2 最佳燃烧控制系统	78
§3.3 工业窑炉计算机控制下位系统——最佳燃烧 控制系统构成	92
§3.4 加热炉钢锭加热过程的数学模型	108
§3.5 加热炉优化控制	122

参考文献	137
第四章 工业锅炉的微计算机控制	139
§4.1 工业锅炉微计算机控制系统的任务和设计思想	140
§4.2 工业锅炉过程控制系统的设计	143
§4.3 工业锅炉微计算机控制系统的硬件	150
§4.4 工业锅炉微计算机控制系统的软件	166
§4.5 调试和运行	188
参考文献	195
第五章 染色工艺程序给定微计算机控制系统	196
§5.1 染色工艺及控制要求	197
§5.2 控制系统的设计思想	201
§5.3 数字控制器的硬件设计	203
§5.4 数字控制器的软件设计	209
§5.5 实际应用效果	235
参考文献	236
第六章 合成氨多台造气炉的微计算机联控系统	237
§6.1 引言	237
§6.2 造气炉工作原理、工艺流程及控制要求	238
§6.3 总体控制方案	245
§6.4 微计算机控制的硬件和接口电路	246
§6.5 多台造气炉联控的软件设计	262
§6.6 模拟实验及现场试投运情况	265
参考文献	266
第七章 建材热工测试微计算机控制系统	267
§7.1 “热箱法”简介	268
§7.2 对象动态特性的测试	272

§7.3 控制方案的选择	273
§7.4 硬件系统设计	277
§7.5 控制软件的设计	280
参考文献	288
第八章 微计算机在流量测量管理中的应用	289
§8.1 流量测量概述	289
§8.2 微计算机流量测量系统	293
参考文献	311

第一章 PID 数字控制器的设计

生产过程的运行情况，通常是用一些物理量来表征的。例如，锅炉的汽温、汽压、汽鼓水位和炉膛负压等。当这些物理量偏离所希望的给定值时，就表示生产过程偏离了规定的工况，必须对生产过程进行控制。控制是对生产过程的一种有目的的干预，控制的目的是使表征生产过程的这些物理量保持在所希望的给定值。这个控制任务可以由人工操作来完成，称为人工控制。一般采用电的或机械的装置来代替人工操作，称为自动控制。不管是人工控制还是自动控制，都必须遵循某种控制规律，过程控制中常用的是比例、积分、微分控制规律，简称PID控制（或PID调节）。本章着重分析PID控制规律，以及如何用计算机实现PID控制，即PID数字控制器的设计。

§ 1.1 PID 控制规律

在工业生产中，通常希望把某些物理参数（如温度、压力、流量、液面和成份等）维持在指定的数值上，这称为定值控制。为了描述控制过程和控制规律，我们以简单的水位控制为例，图 1.1 中的水箱称为被控制对象。根据生产工艺的要求必须保持水位在某一规定的高度上，这个规定的水位

值就称为给定值，水箱的出水流量称为被控制对象的负荷。由于负荷是变动的，而且水源压力也可能波动，这些因素都会影响水位，称为扰动。由于存在扰动，水位的实际值不可能恒等于给定值，两者的差值称为偏差。

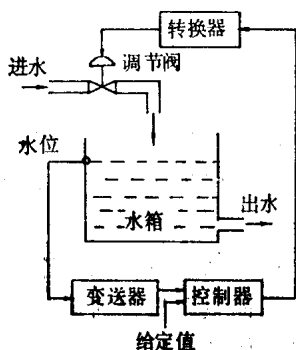


图 1.1 水位自动控制系统

在人工控制时，观察偏差的方向（水位是偏高或是偏低）和大小，手动改变进水阀的开度，就可以消除偏差。采用自动控制系统时，首先要把实际水位检测出来，这就需要用液位变送器。它的输出信号按一定比例反映水箱中的实际水位，这也就是控制器的输入信号之一。控制器根据该输入信号对给定值的差值进行

比例（P）、积分（I）、微分（D）运算，从而输出某个适当的控制信号给执行机构（如调节阀）以改变进水量，促使实际水位恢复到给定值，达到自动控制的效果。

为了便于分析自动控制系统，通常把图1.1表示成图1.2所示的控制系统信号传递方框图的形式。由此可见，组成自动控制系统除被控制对象外，还必须有测量、变送、控制和执行等环节，共同构成控制系统，而PID控制器（或PID调节器）是其中一个重要环节。PID控制器的作用是对偏差进

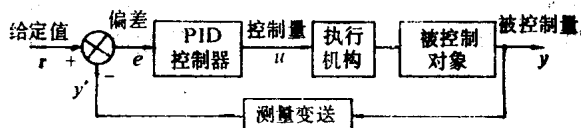


图 1.2 PID 控制系统框图

行比例、积分、微分运算，以下将分别介绍这三种基本的控制规律。

1.1.1 比例控制

在图 1.1 的水位控制实例中，如靠人工维持水位，进水阀的开度可根据偏差大小而定。当水位低于给定值时，必须将进水阀开大些，水位低得愈多，阀门的开度也应该愈大。反之，当水位高于给定值时，就应该把阀门关小些，高得愈多应该关得愈小。操作人员可以按照这样的规律来控制进水阀，使进水阀开度的变化量与水位偏差成比例。采用自动控制以代替人工时可以模仿这个动作规律，这就叫做比例控制规律，记为P控制。具有这种功能的控制器称为比例控制器，简称P控制器或P调节器。

为了易于理解比例控制器的原理并分析它的特点，可参看图1.3的浮子杠杆式水位控制器。图中浮子A随水位而升降，当水位过高时，浮子A上升，杠杆绕支点B反时针方向转动，于是C点下降，通过阀杆使调节阀关小，因而减小进水流量，起到了控制水位的作用。如果把水位的波动看成控制器的输入量并用 y 表示，阀门开启程度的变化就是控制器的输出量，用 u 表示。当杠杆支点B的位置决定以后， a 和 b 的长度就不变了，所以杠杆的传动比是固定的，浮子升高得愈多，阀门关小得愈多，即 u 与 y 在数值上成比例，因此这是一种比例控制器。

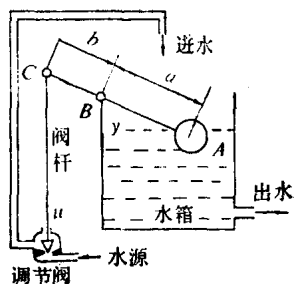


图 1.3 浮子杠杆式
水位控制器

为便于分析动作规律起见，通常假定控制器的输入量出现一个阶跃扰动，即突然出现某一偏差。这时把输入量 y 和输出量 u 随时间的变化用图形表示出来，如图 1.4a 所示。

顺便指出，对于图 1.3 所示的控制器，当水位升高后，进水阀关小，即 y 增大时 u 减小，这样的控制器称为反作用控制器，其动作规律如图 1.4a 所示。控制器还有另一种作用方向，即当输入量 y 增大时，输出量 u 也随之增大，称为正作用控制器，其动作规律如图 1.4b 所示。对于以下研究控制规律而言，我们暂不考虑正反

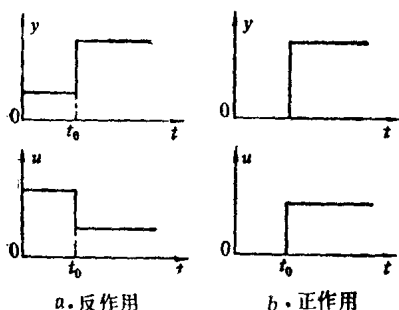


图 1.4 比例控制器的动作规律

作用方向，而且也不考虑阶跃扰动出现之前的初始输入量和输出量，即只考虑输入量和输出量的变化量时，那么比例控制器的动作规律可画成图 1.4b 的形式。

图 1.3 中浮子的位移量和阀杆的位移量之间的关系取决于支点 B 的位置。如果支点 B 恰在杠杆的中央，即 a 和 b 相等，则浮子升高多少阀门也就关小多少，阀门开度的变化和偏差之间就成为 1:1 的关系。如果支点 B 向右移动，使 $a < b$ ，则只要出现少许偏差，阀门开度就会变化很多，显然，这样会使控制作用更为灵敏。通常把比值 $a:b$ 称为比例带或比例度，并用 δ 表示或用 P 表示，即

$$\delta = -\frac{a}{b} \times 100\% \quad (1.1)$$

为了具有普遍性，通常把比例带定义为控制器输入量

(或偏差) e 和输出量 (或控制量) u 之比 (注意这里 e 和 u 都是指它们对于初始工作状态的变化量), 即

$$\delta = \frac{e}{u} \times 100\% \quad (1.2)$$

在图1.3中可以把杠杆的传动比 $b:a$ 看成是位移放大系数, 并用 K_p 表示, 称为比例增益。于是比例带和比例增益之间就有如下倒数关系

$$\delta = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad (1.3)$$

式 (1.2) 也可写成

$$u = \frac{1}{\delta} e \quad (1.4)$$

或

$$u = K_p e \quad (1.5)$$

式中 $e = y - r$, r 为给定值, y 为被控制量, e 为偏差。

比例控制器的优点是反应快, 缺点是不能完全消除偏差。试看图 1.3 中负荷加大, 即出水流量增多时的情况。这时为了保持水位不致下降过多, 控制器要自动地把进水阀门开大一些。换句话说, 负荷加大时阀杆要比以前升高一些。而阀杆又是靠浮子和杠杆带动的, 所以阀杆的上升必然是浮子下降的结果, 浮子下降又肯定是水位偏低的反映。这就说明在负荷加大以后水位不可能维持在原有的给定值上, 而要下降一些。反之, 负荷减小时, 水位将高于给定值。可见, 它不能严格地把水位保持在给定值上, 在动作完毕之后仍然保留一部分偏差, 这叫做残余偏差或余差。

采用较小的比例带使控制器更灵敏些, 会使残余偏差小一些, 但无论如何也不能做到完全消除偏差。这是比例控制本身所固有的弊病, 要想克服这个缺陷, 必须采用积分控制

规律，以兹弥补。

1.1.2 积分控制和比例积分控制

人工控制水位时，往往在观察到偏差以后立即按比例地操作阀门，使偏差减小，然后仔细地观察水位，并继续不断地缓慢调整阀门的开度，只要有偏差存在就不停止动作。这样，最后总可以把偏差完全消除，使水位和给定值完全一致。要提高自动控制的精度，就必须模仿人工控制的动作规律，首先要分析人工控制动作规律的特点。

值得注意的是，人工控制过程的后期所具有的特点，即只要有偏差存在就不断地继续改变阀门开度，直到偏差消失为止。在这期间阀门开度的变化量相当于偏差对时间的积分，称为积分控制（I控制），其表达式为

$$u = S_0 \int e \, dt \quad (1.6)$$

式中 S_0 代表积分速度。

控制器不能仅有积分动作，因为它动作缓慢，控制不及时，必须把它和比例动作结合起来，以取长补短，构成比例积分控制器，简称PI控制器或PI调节器，其表达式为

$$u = \frac{1}{\delta} e + S_0 \int e \, dt = \frac{1}{\delta} \left(e + \delta S_0 \int e \, dt \right) \quad (1.7)$$

令 $T_i = 1/\delta S_0$ ，则式（1.7）可写成

$$u = \frac{1}{\delta} \left(e + \frac{1}{T_i} \int e \, dt \right) \quad (1.8)$$

式中 δ 为PI控制器的比例带， T_i 为PI控制器的积分时间。

PI控制器的动作规律如图 1.5 所示，在发生阶跃扰动的瞬间，阀门开度按比例立即改变，这是比例动作规律。随