

高等学 校 课 本 用 书

计算机控制系统

冶金工业出版社

高等学校教学用书

计算机控制系统

东北工学院 顾兴源 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
计算机控制系统
东北工学院 顾兴源 编

*

冶金工业出版社出版

(北京市灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 8 字数 209 千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷

印数00,001~13,000册

统一书号: 15062·3777 定价1.00元

前 言

现代工业生产的规模越来越大，过程越来越复杂，为了保证高产量、高质量、低成本和低能耗，要求自动化的程度也越来越高。由于人在生理条件方面的限制，无论是在动作速度、分辨及动作精度和动作的一致性方面，还是在处理复杂问题的能力等方面，都有一定的局限性。进一步提高要求就不得不借助于自动化的理论和技术工具了。至于常规的控制仪表和逻辑装置，在处理随机控制、最优化和多变量控制等方面的能力是极其有限的，且往往是不可能的，这些问题只有采用计算机控制系统才能解决。此外，计算机还具有记忆和通信的能力，借助于这种能力，可以把一个复杂的生产过程组织管理起来，成为一个自动化的整体，使生产过程始终在最优的状态下运行，也就是构成一个集成生产控制系统。

过去由于计算机的价格昂贵，曾限制了计算机控制系统的普及。最近十多年来，由于计算机价格不断大幅度下降和现代控制理论的进一步发展，所以计算机控制系统已在不少领域中得到了广泛的应用，在我国的四化建设中，也正在发挥越来越重要的作用。

本书介绍计算机控制系统的基础知识、基本理论和应用技术，可供工院校计算机应用和工业自动化等专业教学之用，也可以作为从事计算机应用和自动化工作的科技人员的自修读本。

本书内容曾多次在东北工学院“计算机应用”专业讲授过，也曾数次在东北工学院举办的科技人员短训班和教师进修班进行讲授。阅读本书时要求读者学过高等数学，并且具备反馈控制和计算机的基本知识。本书的内容是由浅入深，自成体系的。掌握第一篇的内容后就可以从事生产过程计算机控制的工作。第二、三篇的内容是为了进一步提高控制水平所需要的。阅读第三

篇时还要求读者有线性代数和概率论的初步知识，但并不一定要事先具备现代控制理论的知识。

作为教材，如果学时在20左右，就可只选取第一篇中的内容；如果有50学时，就可选第一、二篇中大部分的内容。讲授全书主要内容约需70学时。

由于编者水平不高，经验较少，书中缺点和错误一定不少，所以热忱地欢迎读者批评指正。

编 者

一九八一年一月

目 录

第一篇 计算机控制系统基础知识

第一章 计算机控制系统概述	1
第一节 某些控制概念和术语	1
第二节 计算机控制系统的构成	7
第三节 各种类型的计算机控制系统	15
第四节 计算机控制系统的可靠性和可维护性	26
第五节 关于微处理器和微型计算机应用的某些问题	30
第二章 位置直接数字控制	33
第一节 微型计算机数字随动系统	33
第二节 小型计算机位置控制系统	43
第三章 热工和化工过程的直接数字控制	54
第一节 模拟调节器简介	54
第二节 连续时间控制系统的性能评价	66
第三节 生产过程的特性测定	68
第四节 模拟调节器的参数整定	72
第五节 热工和化工过程DDC的概念	75
第六节 热工和化工过程DDC的基本算法	76
第七节 阀门动作问题	80
第八节 采样周期问题与输入量和输出量的数字化问题	82
第九节 数字滤波器	85
第十节 热工和化工过程DDC系统的参数整定	89
第十一节 热工和化工过程DDC系统的失控问题	90
第十二节 热工和化工过程DDC系统的基本程序	93

第二篇 数字控制系统的分析和设计

第四章 数字控制系统概述	99
--------------	----

第一节	数字控制系统框图	99
第二节	采样器	101
第三节	保持器	103
第四节	数字控制系统的研究方法	107
第五章	z 变换	108
第一节	差分方程	108
第二节	z 变换的定义	113
第三节	z 变换的性质	115
第四节	z 反变换	120
第五节	用 z 变换解差分方程	125
第六章	数字控制系统分析	130
第一节	脉冲传递函数	130
第二节	差分方程和脉冲传递函数的相互转换	133
第三节	脉冲传递函数的串联	133
第四节	数字控制系统的稳定性	134
第五节	采样周期对闭环系统稳定性的影响	140
第六节	开环放大系数对闭环系统稳定性的影响	141
第七节	扩展 z 变换	143
第七章	数字控制系统设计	148
第一节	具有最快响应的数字控制系统设计	148
第二节	具有最快响应的无波纹数字控制系统的设计	156
第三节	控制对象具有纯滞后的数字控制系统设计——大林算法	162
第四节	数字控制器在计算机上的实现	169
第五节	模拟控制器的数字仿真	173
第六节	大林算法和 PID 算法之间的关系	176

第三篇 现代控制理论在计算机控制中的应用

第八章	动态系统的计算机辨识	181
第一节	系统辨识概述	181

第二节	最小二乘参数估计	182
第三节	广义最小二乘参数估计	201
第四节	线性离散时间系统阶的 F 检验法	205
第九章	用计算机实现的随机控制	213
第一节	最小方差控制	213
第二节	自校正调节器	218
第十章	离散时间系统的标准形式	225
第一节	两种标准形式	225
第二节	任意系统方程往标准形式 I 的转换	226
第三节	标准形式 I 和 II 的相互转换	228
第十一章	离散时间最优控制	231
第一节	离散时间极大值原理	231
第二节	离散时间线性调节器	233
第十二章	递阶结构最优控制	236
第一节	分解	236
第二节	协调	238
附录	关于矩阵运算的几个问题	244

第一篇 计算机控制系统基础知识

第一章 计算机控制系统概述

第一节 某些控制概念和术语

一、直接数字控制(DDC)和计算机监督控制(SCC或SPC)

在生产过程中,对于每个被控制量,每时每刻都有两个必须处理的问题:1)根据工艺要求或经营策略方面的考虑,决定希望被控制量达到的数值,并对控制器按这个数值进行设定。这个数值叫做设定值。2)根据被控制量的设定值和测量值决定控制量(或控制作用)的大小,并使执行机构(或执行器)执行这个决定。控制量和被控制量不一定是同一种物理量。例如一个炉子的被控制量可以是温度,而控制量可以是煤气流量,也可以是煤气阀门的动作位置。处理第一个问题就叫做进行监督控制,而处理第二个问题则叫做进行直接控制。

直接控制和监督控制都可以由人工、控制仪表或电子计算机来执行。二者全都由人工执行的叫人工控制。由常规控制仪表直接控制,而由人工或仪表进行监督控制的叫仪表控制。图1-1所示的就是一个常规仪表控制系统。由计算机进行直接控制,而由人工进行监督控制的叫直接数字控制(DDC),如图1-2所示。由仪表直接控制,而由计算机进行监督控制的叫计算机监督控制(或SCC),如图1-3所示。由人工直接控制,而由计算机进行监督控制的叫操作指导,如图1-4所示。两种控制都由计算机来执行的是DDC加SCC,如图1-5所示。

二、比值控制

在生产过程中,有时要求两个被控制量保持一定的比值,为实现这种要求而进行的控制,叫做比值控制。例如煤气加热炉,

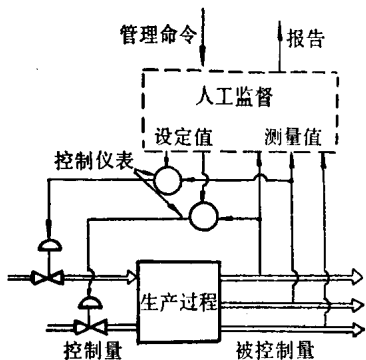


图 1-1 常规仪表控制

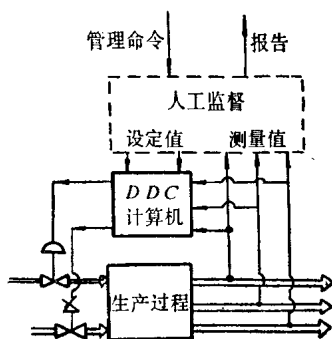


图 1-2 直接数字控制

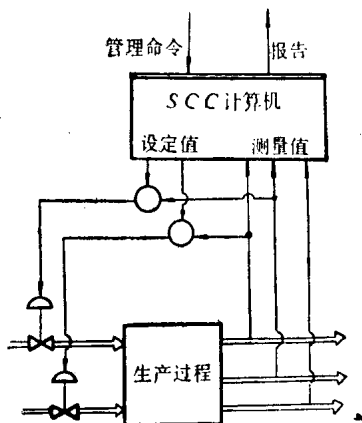


图 1-3 计算机监督控制

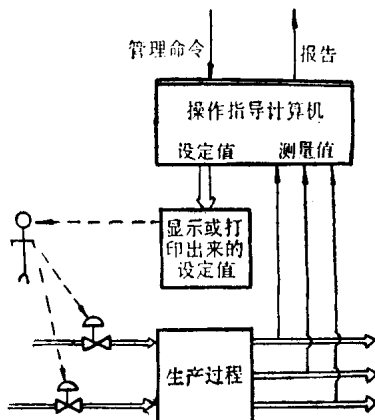


图 1-4 操作指导

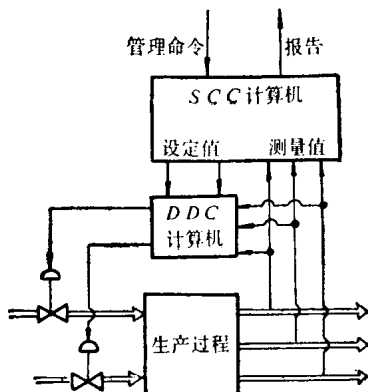


图 1-5 DDC和SCC

在不同的加热阶段，要求空气流量与煤气流量保持不同的比值。图 1-6 中虚线框内的部分就是比值控制部分。图中画的是由仪表实现的比值控制。在计算机控制系统中，这个功能就由计算机来完成。

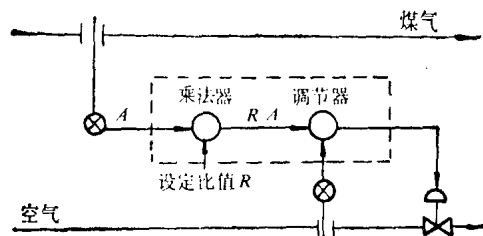


图 1-6 比值控制

三、串级控制

在串级控制系统中，主控制器的输出不直接决定控制作用的大小，而是作为另一个控制器（副控制器）的设定值，再由副控制器来决定控制作用的大小，并予以执行。图 1-7 是一个串级控制系统，控制目的是使炉温为设定值。如果煤气管道中的煤气压力是恒定的，那么就只要由主控制器直接给出煤气阀门的动作位置就可以了，也就是说由主控制器直接控制煤气阀门。这样就不需要副控制器，也就是不需要串级控制了。但是如果煤气总管道是同时给许多炉子供气，那么煤气压力就不是恒定的，也就是说存在外界干扰。在这种情况下，煤气阀门的一定动作位置并不能保证一定的煤气流量，故只用一个主控制器就不能完成温度控制的任务了。为此，可以采用串级控制来完成此任务。如图 1-7 中所示，主控制器给出所需煤气流量的数值，并对副控制器按照这个数值加以设定，副控制器的任务就是在有干扰的情况下，使实际的煤气流量基本上等于设定值。十分明显，为了使串级控制能真正发挥作用，副控制回路（图 1-7 中的煤气流量测量仪表，变送器，副控制器，执行机构，煤气阀门）必须能快速动作。图中虚线框内画的是由调节仪表实现的串级控制。在计算机控制系统中，

这个功能就由计算机来完成。

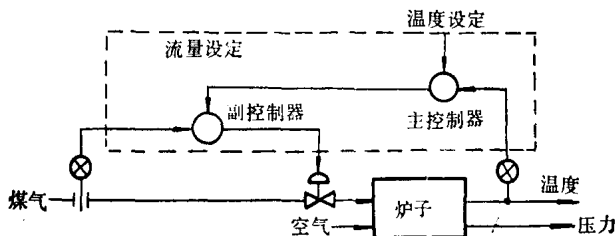


图 1-7 炉温串级控制系统

四、程序控制

在某些生产过程中,要求被控制量尽量按照一定的,预先规定好的时间函数来变化。为了达到这个目的,就必须使被控制量的设定值严格地按照这个规定的时间函数进行变化,这样的控制就称为程序控制。例如罩式退火炉就要求控制其内温按照图 1-8 中的时间曲线进行变化。又如单晶炉也要求其炉温按照一定的时间曲线进行控制。在生产过程中,诸如此类的例子是很多的。这种程序控制可以用人工操作来完成,也可以由程序控制器来完成,也可以由计算机来完成。应该注意的是所谓程序控制中的“程序”二字,只具有时间的概念,而并不是指由指令组成的计算机程序。因为早在电子计算机还没有发明以前,程序控制的概念就已经有了。

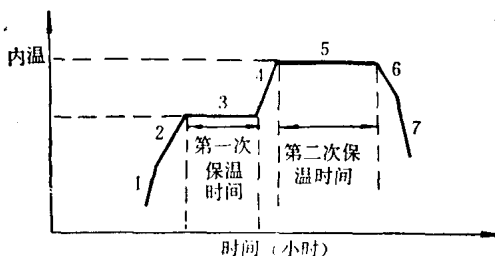


图 1-8 罩式退火炉的温度控制曲线

五、顺序控制

顺序控制是程序控制的扩展。它在各个时期所给出的设定值可以是不同的物理量。而且每次设定值的给出，不只取决于时间还取决于对于以前的控制结果的逻辑判断。顺序控制被广泛应用于各种类型的生产过程中。它可以由人工进行，也可以由专门的顺序控制器进行，或者由计算机来进行。

六、前馈控制

反馈控制的前提是被控制量必须偏离设定值。所以在干扰的作用下，生产过程的被控制量必须首先偏离设定值，然后控制系统才能产生反馈控制作用，去抑制干扰的影响。也就是说，在反馈控制系统中，必须在干扰已经造成一定的后果以后，才能反过来产生抑制干扰的控制作用；而且如果干扰是不断变化的，那么控制作用就会总是跟不上。前馈控制和反馈控制相反，它不等干扰最后影响到被控制量（这总是需要一定时间的），而是在测得干扰量的大小以后，经过适当的延时，就在干扰点的前方，加入一个前馈控制作用，使它正好能够完全抵消干扰对被控制量的影响，如图1-9所示。从原理上来说，前馈控制就可以使被控制量完全不受干扰的影响。

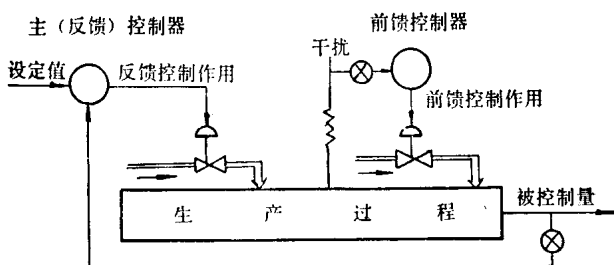


图 1-9 前馈控制系统

七、最优控制

笼统地谈“最优”是没有意义的，必须指明要求什么东西“最优”以后，再谈论“最优”才是有意义的。例如，对于一个

生产机械或生产过程来说，要求某部分机械在规定的限制条件下，移动一定距离的时间最短；或者要求在规定的限制条件下，完成一定的产量和质量所消耗的燃料最少；或者要求在规定的限制条件下，某个综合的指标最好等等。上述各种要求可以归纳为要求各自的性能指标（或目标函数）最小（或最大）。例如，规定性能指标为成本，则要求性能指标最小；规定性能指标为利润，则要求性能指标最大。这两者所代表的意义是同样的。为实现上述某种要求而进行的控制，就是对那种要求而言的最优控制。

八、适应控制

在运转条件不变的情况下，对一个特定的系统，按照最优控制理论设计出来的控制器，应能够保证系统在设定值（输入量）为各种不同数值时，始终得到最小（或最大）的性能指标。

但在运转条件经常改变的情况下，针对某种运转条件设计的最优控制器，在另一种运转条件下就不能得到最优的效果了。如果在运转条件已经改变了的情况下，一个控制器仍能使规定的评价值函数最大（小），那么这个控制器就叫适应控制器。这种控制就称为适应控制。“适应”两字是指能适应周围环境变化的意思。

随着组成适应控制器方法的不同，适应控制系统有许多种类。按照运转条件的改变来改变控制器本身参数的，就是自动参数整定的适应控制系统。按照运转条件的改变来改变控制器本身的结构，就是自动组织结构的适应控制系统。随着运转条件的改变，能不断积累控制经验，并能根据所积累的经验，自动地改变控制器本身的参数或结构，使控制的效果随着时间的推移而越来越好的，就是能自学习的适应控制系统，或自学习系统。

九、在线、离线和实时

说一个设备“在线”，就是指这个设备与计算机的中央处理器（CPU）连接在一起，它的工作直接受中央处理器的控制。也有人把这种情况称为“联机”，所指的是一个意思。说一个设

备“离线”，就是说这个设备已经与计算机的中央数据处理器断开，它的工作不受中央控制器的直接控制，也有人把这种情况称为“脱机”。“实时”的意思就是“立刻”、“现在”或“及时”。在实时系统中，信息的输入、计算和输出都是在一定的时间范围内完成的。这个时间范围就是最长的允许时间，超过这个时间范围，就会失去控制的时机。

一个在线系统不一定也是一个实时系统。但是一个实时系统则必定同时具有在线的功能和设备。例如一个只用于数据记录的计算机系统就是一个在线系统，但不是一个实时系统。一个 *DDC* 控制系统则必定是一个在线实时系统。

第二节 计算机控制系统的构成

一、生产过程中的控制问题

生产过程中的控制问题，一般说来，总是由下列问题中的几个组合而成的。

1) 由给定的原料生产出规定的产品时，对生产过程中的所有可控制的物理量（温度、压力、流量、位置、速度等等）都有一定的工艺要求，有的必须不超过某一个限定值，有的必须不超过某一限定范围，有的必须相当准确地控制在某个给定值上，有的必须按照某种规律变化，等等。

2) 原料有改变或条件有改变时，仍要求生产出原来的产品，就必须作出如何改变工艺的决定。

3) 某些生产过程的启动和关闭，必须按照规定的先后次序进行操作。

4) 市场情况和经营目标有改变时，必须作出如何改变原料配比的决定。

5) 作出控制决策，使原料最省，设备利用得最好，生产率最高，等等。

二、计算机控制系统的形成

最原始的控制系统的由生产过程和人所组成的。它是通过人

的视觉、听觉、触觉等进行检测，经过人的判断和决策，通过手去执行控制的。在这里，人起到了检测仪表、控制器和执行器的三重作用。再发展一步，在生产过程中装上检测仪表和控制器，人只起执行器的作用，这样，一个人就可以控制几个被控制量。当生产过程变得越来越复杂以后，由于体力所限，人不能控制太多的被控制量，也不能进行很快的控制，另外，人工控制也不能始终如一，故产品的一致性就差。

模拟控制器就是为了解决上述问题而发展起来的，它可以使控制具有合理的一致性，并使人从繁重的控制操作中解放出来。但是它还有缺点，这就是一个模拟控制器只能控制一个被控制量，而各个模拟控制器之间一般不能进行信息交换，因此不能组成一个统一的控制系统。当然在一些局部，模拟控制器也可以组成串级控制、比值控制等互相关联的控制。但是，如何根据各个回路（控制回路）之间的互相关系和当前状态，进行决策，仍然需要操作人员来做。对于大的、复杂的、快速的生产过程来说，就会发生操作人员限于体力而照顾不过来，来不及操作或来不及作准确的判断等情况。

电子计算机控制系统就没有上述问题，它可以把生产过程的各个控制回路都管理起来，组成一个统一的控制系统，从而使生产过程始终在最优状态下运转。采用计算机控制系统，还可使设备得到较好的利用，适应工艺改变快，能正确进行生产设备的启动和关闭等操作。另外还能进行报警，数字记录等。

为了使计算机控制系统能产生上述那些作用，首先必须了解生产过程的特性以便作出控制方案。在研究生产过程的特性，观察它对控制作用的反应等的活动中，控制计算机系统本身就是一个很好的工具。利用这些研究得到的经验数据和理论知识就可以做出一个数学模型。数学模型是生产过程的许多输入量（控制量和干扰）和输出量（被控制量）之间的动态关系的某种数学表达式。

生产过程的数学模型、控制算法、传感器、控制元件、计算

机系统和生产过程等组合在一起，就构成了一个生产过程的计算机控制系统。

三、对工业控制计算机系统各部分的一般要求

1. 中央处理器 (CPU) 从六十年代后期开始，用于生产过程控制的计算机大多是小型计算机。这主要是因为小型计算机的价格不断下降，而另一方面，它却具有相当大的计算能力。到七十年代后期，微型计算机以更低的价格大量出现，从而使采用计算机控制在经济上合理的领域越来越多。所谓小型和微型，主要是指中央处理器而言的。这里将不研究CPU的细节，而只讨论工业控制计算机系统的CPU所应有的某些性能。

(1) 实时时钟：在对生产过程的控制中，往往有这样的要求：例如，记下某些事件发生的时间，按照一定的时间表进行各种操作，在发生某个事件以后，经过一段规定的时间就必须进行某种操作等等。在这些要求中，在控制计算机执行的程序中，就需要有一个时间参数，而这个时间参数则必须由实时时钟来提供。通常有两种解决办法：一种是有一个实时时钟作为外部设备，程序可以去读时间，也可以给实时时钟规定多少时间来申请一次中断（如几小时，几分钟或几秒）；另一种办法是在CPU或外部设备中有一个基本的时标发生器，再利用中断及适当的软件配合来产生各种时间间隔。前一种办法不占用CPU的时间，后一种办法要占用CPU的时间，但较为经济。

(2) 程序中断：计算机控制系统必须具有实时性能。在生产过程发生紧急情况时，更必须能够及时采取适当措施。因此，控制计算机必须有程序中断的功能。生产过程发生紧急情况时，就立即申请中断。CPU响应中断后，就暂停原来执行的程序，转而执行适当的中断处理程序，对生产过程进行紧急处理。处理完毕以后，再返回断点继续执行原来的程序。计算机的中断功能，除了使控制系统具有实时性能之外，还带来了其它好处。例如，指出某个规定时间间隔的到达，指出输入输出传送错误和内存存取错误，为充分发挥CPU的工作能力而及时指出外部或外围