



高等学校教材

计算机控制系统

王慧 主编
金以慧 主审

化学工业出版社
教材出版中心



高等学校教材

计算机控制系统

王 慧 主编
金以慧 主审

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统 / 王慧 主编. —北京: 化学工业出版社, 2000.7

ISBN 7-5025-2654-4

I. 计... II. 王... III. 计算机控制系统-基本知识
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03228 号

高等学校教材
计算机控制系统

王 慧 主编

金以慧 主审

责任编辑: 唐旭华

责任校对: 凌亚男

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 23¼ 字数 544 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—3000

ISBN 7-5025-2654-4/G · 685

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着现代化工业生产过程复杂性与集成化程度的增加,计算机控制系统在工业过程中已成为不可缺少的重要组成部分,这就要求从事自动控制的研究人员和工程技术人员在掌握生产工艺流程和自动控制理论的同时,必须掌握计算机控制系统的有关硬件、软件、控制策略、数据通信、网络技术、数据库等诸多方面的专门知识与技术,从而不仅能够分析与应用,而且能够设计并实施满足实际工业生产过程需要的计算机控制系统。

近十多年来,随着信息技术的高速发展,计算机控制也得到长足的进步,知识更新也很快。许多大专院校都面向本科高年级或研究生相应地开设了“计算机控制系统”课程,以适应形势发展的需要。《计算机控制系统》一书便是作者在几年来讲授该门课程的基础上,在化工出版社的大力支持下,综合了浙江大学工业控制技术研究所教学、科研方面的先进技术和经验,参考了国内外大量的文献和著作,按教材的形式进行编著的。书中不仅对计算机控制系统的概念,包括总体描述和基本构成、总线技术、接口技术、数据通信技术、网络技术、常用控制策略、软件技术、数据库技术、计算机集散控制系统(DCS)、系统设计与实施技术等作了较为系统和全面的介绍,而且还用一定的篇幅,比较详细地介绍了工业控制技术发展的热点之一——现场总线技术和代表了当今自动化领域发展方向的计算机集成制造系统(CIMS)。由于计算机技术与自动化技术的发展非常迅速,在编写本书的过程中,一方面力求做到比较全面和系统地介绍计算机控制系统的特点,强调系统的整体概念、基础理论与技术;另一方面注重突出先进性,介绍利用计算机控制系统实施先进的控制策略以及与其它学科的交叉应用,并反映出自动化领域研究的热点和发展的趋势。同时,书中还通过了一些已在工业现场成功应用的实例来加强对有关技术问题的理解。尽量做到重点突出、层次分明、条理清晰,便于自学。因此,本书不仅可以作为工业自动化、自动控制及计算机应用等专业高年级学生或研究生的教材或教学参考书使用,还可以作为从事工业控制及相关领域工作人员的参考书。

全书共分十二章:第一章是绪论部分;第二章介绍计算机总线技术基础;第三章介绍计算机控制系统的接口技术;第四章介绍数据通信技术基础;第五章介绍计算机网络技术基础;第六章介绍计算机控制系统的常用控制策略;第七章介绍计算机控制系统的软件技术;第八章介绍计算机控制系统中的数据库技术;第九章介绍计算机集散控制系统(DCS);第十章介绍计算机控制系统的设计与实施技术;第十一章介绍现场总线技术;第十二章介绍计算机集成制造系统(CIMS)。本书作为教材时,讲授全部内容约需要 60~80 学时。根据学时数的多少,可适当增减授课内容。

为体现该门课程应具有先进性、直观性,大幅度增加课堂教学的信息量,并引导学生开阔思路,积极思维,主动参与教学与讨论,培养创新性人才,作者还编制了基于全书内容的开放式电子教学辅助软件,可供选择该教材的教师在教学时使用。该软件一方面可以根据教学学时数的多少直接进行内容的取舍,选用其中一部分或全部先用。一方面还可根据教学需要在其基础上方便地自行进行内容的增添、删节或修改。软件适用于 50~70 左右的教学学时数,需要者可与作者或化学工业出版社教材出版中心直接联系。

应用该套软件可以采用下列方式之一进行教学:

- (1) 计算机及投影设备——直接由计算机联上投影仪上课, 所有内容将投影出来;
- (2) 投影仪——打印到投影薄膜上用投影仪教学;
- (3) 计算机——黑板式教学, 软件在学生课后复习或自学时作为参考。

本书由浙江大学王慧副教授主编并统稿、定稿, 清华大学金以慧教授主审。参加编写工作的人员有王慧(第一、二、六、十章), 胡协和副教授(第三、四、十一章), 叶效锋副教授(第五、七章), 鲍立威副研究员(第八、九章), 李平教授(第 12 章)。

在本书的成书过程中, 自始至终得到了周春晖教授、孙优贤院士、钱积新教授等自动化领域专家及相关同志的热心鼓励和帮助, 得到了浙江大学工业控制技术研究的大力支持, 许多素材直接引自于一些技术报告和文献, 在此深表谢意。

需要说明的是, 书中的一些观点仅代表了作者的看法, 由于能力与水平有限, 本书难免存在着错误和缺点, 殷切希望读者不吝赐教。

作 者

1999 年 12 月 30 日于杭州浙大求是园

第一章 绪 论

计算机控制是计算机技术与自动控制理论及自动化技术紧密结合并应用于实际的结果。它的应用领域非常广泛,不但是国防、航天航空、导弹制导等高精尖学科必不可少的组成部分,而且在现代化的工、农、医等领域也已发挥着越来越重要的作用。本书主要介绍计算机对工业生产过程的控制,尤其是对化工、炼油、冶金、制药等连续生产过程的控制,相应的计算机控制系统称之为过程计算机控制系统。本书将侧重讨论过程计算机控制系统中的总线技术、输入输出接口技术、数据通信技术、控制策略、网络技术、软件技术、系统的整体设计与工程实现以及计算机集散控制系统等。为使读者拓宽知识面,本书还介绍了近年来新发展起来的与计算机控制有关的一些先进技术,如计算机控制系统中的数据库技术、现场总线技术以及计算机集成制造系统等。

作为绪论,本章主要介绍过程计算机控制系统的一般概念、系统分类、设计与实现技术以及发展概况等。

第一节 计算机控制系统的一般概念

一、计算机控制系统的概述

1. 计算机控制系统的工作原理

顾名思义,计算机控制系统强调计算机是构成整个控制系统的核心。举一个最简单的例子,如果将计算机控制系统与熟知的常规控制系统作比较,则可认为计算机在控制系统中的位置是取代了常规控制系统中的模拟调节器。图 1-1 是按偏差进行控制的单回路控制系统框图。其工作原理是:当系统由于某种原因出现偏差 e 时,控制器便按预先设置的控制规律对该偏差进行运算,然后输出一个变化了的控制量 u 到执行机构,使其产生一个能减小偏差的控制作用。这个过程不断进行,直到满足控制要求为止。此时,控制器输出 u 便维持在一一定的值上不再改变。当控制器是常规的模拟调节器时,其系统便称之为常规控制系统,如图 1-1(a)所示。如果图 1-1(a)中的常规控制器由计算机“取代”如图 1-1(b)所示,则构成一个最简单的计算机控制系统。然而,这里所说的“取代”并不是件很容易的事。因为生产过程是多种多样的,通常的被控变量为模拟的温度、压力、流量、液位等物理量。虽然已有检测仪表将这些物理量转换为电流或电压,但仍然是连续的模拟量。而计算机处理信息以数字量作为基础,所以在计算机“取代”常规调节仪表时,必须要有将模拟量转换为数字量的装置。同理,当作为控制器的计算机计算出应该输出的控制量时,该控制量是一个数字量,必须将其先转换为模拟量,才可输送到执行机构上。上述模拟量与数字量之间的转换装置即为计算机与生产过程之间的接口,分别称为模/数转换(A/D)和数/模转换(D/A)。此外,还必须有将过程信息读入系统的采样器与保持器等。为清楚起见,这些与常规控制系统不同的部分列在图 1-1(b)的虚线框中,与数字计算机一起统称为计算机系统。即便是被控变量不是模拟量而是开关量(数字量)这种比较简单情况,在计算机控制系统中也需要用开关量输入输出接口进行信号的传输,而不能直接将过程与计算机相连。通常将用于计算机与过程之间信号传输的转换装置称之为生产过程输入输出通道,简称过程通道。

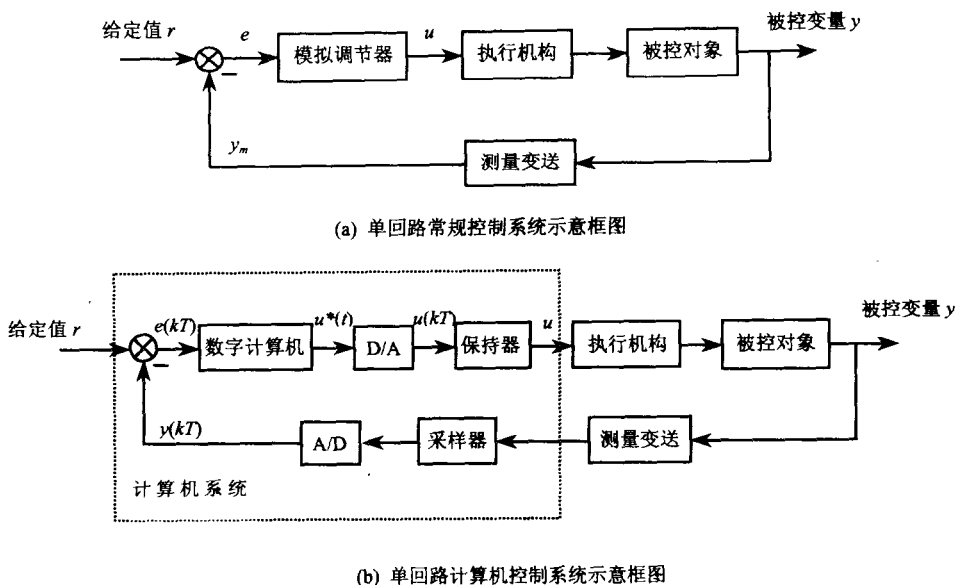


图 1-1 单回路控制系统示意图

图 1-1(a)中所示的模拟调节器主要由模拟电路构成,控制功能与模拟电路往往一一对应,改变控制方案很困难。工业过程控制中最常见的有 PID 模拟调节器,它们一般为单回路调节器,即一台调节器为一个回路服务。如果要控制多变量系统,有多少个回路就需要多少台调节器。而对于图 1-1(b)所示的计算机控制系统,其组成方式就要灵活得多。通常一台计算机可控制若干个回路。并且由于计算机具有很强的计算、比较与存储信息的能力,因而计算机控制系统可以实现过去用模拟调节器很难实现的更为先进和复杂的控制策略,如自适应控制、预测控制、非线性控制和智能控制等,从而更好地满足日益复杂化的工业过程的控制要求。更进一步,将过程计算机控制系统、数字通信技术、计算机网络技术、数据库技术、现代管理技术等结合起来,可以在整个工厂或企业实现计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacture System, 又称之为综合自动化系统)。随着社会与历史的发展,计算机控制系统将在现代化的工业中起到越来越重要的作用。

在计算机控制系统中,计算机不但要完成原来由模拟调节器完成的控制任务,而且还应充分发挥其优势,完成更多模拟调节器不可能完成的任务,从而使控制系统的功能更趋于完善。一般地,计算机在控制系统中至少起到以下三个作用:

- (1) 实时数据处理 对来自测量变送装置的被控变量数据的瞬时值进行巡回采集、分析处理、性能计算以及显示、记录、制表等;
- (2) 实时监督决策 对系统中的各种数据进行越限报警、事故预报与处理,根据需要进行设备自动启停,对整个系统进行诊断与管理等;
- (3) 实时控制及输出 根据被控生产过程的特点和控制要求,选择合适的控制规律,包括复杂的先进控制策略,然后按照给定的控制策略和实时的生产情况,实现在线、实时控制。

2. 计算机控制系统工作方式

(1) 在线方式与离线方式 在计算机控制系统中,生产过程和计算机系统直接连接,并接受计算机直接控制的方式称为在线或联机方式;若生产过程不和计算机系统相连,或虽相连接但不受计算机控制,而是靠人进行联系并作相应操作的方式称为离线或脱机方式。

(2) 实时性 实时性是过程计算机控制系统的特点之一,其含义是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成,亦即计算机对输入信息要以足够快的速度进行控制,若超过规定的时限就失去了控制的时机,控制可能失去意义。实时性是具体的过程密切相关的,一个在线的系统不一定是实时系统,但一个实时系统必定是在线系统。

二、过程计算机控制系统的信号特点

1. 过程计算机控制系统的信号形式

计算机控制系统与常规控制系统的最大区别在于控制策略是由计算机实现还是由模拟控制器实现。由于过程计算机控制系统的控制对象往往是连续变化的过程物理量,而计算机以数字量形式处理信息,所以过程计算机控制系统是模拟信号与数字信号并存的混合系统。从信息传输的观点观察,系统中信息的变换与处理过程如图 1-2 所示。从图中可以看出:物理模拟量通过测量变送后转换成相应的电压或电流信号 $y(t)$, 采样器定时采入此模拟信号,通过 A/D 转换器转换成计算机能够处理的数字量 $y(kT)$ 并送入过程控制计算机。计算机按预定控制策略经数学运算和逻辑处理等,得到应该输出的数字信号 $u(kT)$, 经 D/A 转换和保持器,将离散信号 $u(kT)$ 转换为连续信号 $u(t)$, 再把此信号输出到执行机构上,施加于被控对象。所以计算机控制系统的工作过程可以看成是信号的采集、处理和输出的过程。在这个过程中,信号在时间上有连续信号与离散信号之分,在量值上有模拟量与数字量之分,综合起来共有以下四种形式。

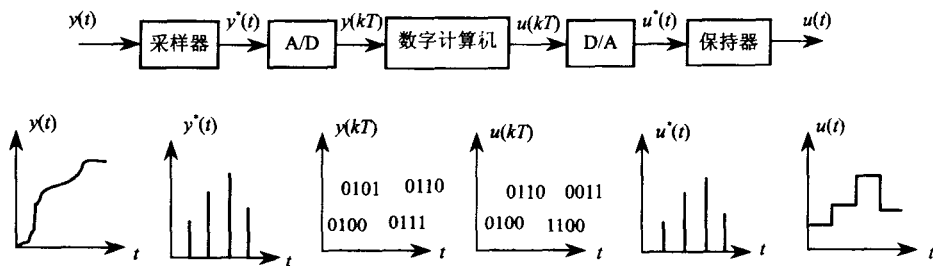


图 1-2 计算机控制系统信号形式示意图

(1) 连续模拟信号 如各测量变送器的输出信号 $y(t)$ 及 D/A 变换后保持器的输出信号 $u(t)$, 它们均为时间上是连续、量值上是模拟的信号。

(2) 离散模拟信号 如采样器的输出 $y^*(t)$ 和 D/A 的输出 $u^*(t)$, 它们是周期性或非周期性的脉冲序列信号, 在相邻两脉冲之间没有输出。对周期性信号而言, 任何相邻两脉冲之间的间隔就叫采样周期 T 。

(3) 连续数字信号 这种信号在时间上虽是连续的, 但在量值上已由模拟量转化为由数码表示信号的大小, 如在计算机内部存储和处理的信号。

(4) 离散数字信号 这种信号在时间上是离散的, 量值由数码表示, 如 A/D 变换器的输出 $y(kT)$ 及计算机输出 $u(kT)$ 。

从离散模拟信号 $y^*(t)$ 到数字信号 $y(kT)$ 的变化过程称为量化(整量化), 即用一组二进制数码来逼近采样得到的模拟信号值。由于计算机总是有限字长, 所以量化过程会带来量化误差。量化误差的大小取决于量化单位 q , 若被转换的模拟量电信号满量程为 M , 转换成二进制数字量(A/D)的位数为 n , 则量化单位 q 定义为 $q=M/2^n$, 而量化误差定义为 $e=\pm q/2$ 。显然, n 越大, 量化误差越小。但 n 过大会导致计算上有效字长的增加。下面举一个例子说明字长

与量化单位 q 及量化误差的关系。

【例】若某模拟量电信号满量程 $M=10\text{V}$ ，当 A/D 转换器的位数分别是 $n_1=8$ 位、 $n_2=12$ 位时，试求量化单位 q_1 、 q_2 与量化误差 e_1 与 e_2 。

【解】量化单位 $q_1 \approx M/2^{n_1} = 10\text{V}/2^8 = 39.1\text{mV}$

$q_2 \approx M/2^{n_2} = 10\text{V}/2^{12} = 2.44\text{mV}$

量化误差 $e_1 = q_1/2 = 19.5\text{mV}$

$e_2 = q_2/2 = 1.22\text{mV}$

2. 信号的采样过程

把时间和量值上均连续的模拟信号，按一定的时间间隔 T (该间隔称为采样周期) 转变为只在瞬时 $0, 1T, 2T, \dots, kT$ 才有脉冲输出信号的过程称为采样过程。实现采样的装置被称为采样器或采样开关，如图 1-3 所示。采样器的输入信号 $y(t)$ 称为原信号，采样器的输出信号 $y^*(t)$ 则称为采样信号。

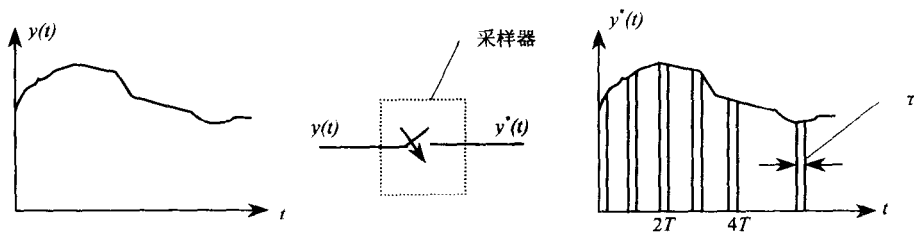


图 1-3 采样过程示意图

在图 1-3 中，当采样开关的闭合时间 τ 远远小于采样周期 T 时，可以将实际采样开关看成是理想采样开关(接通电阻为零，断开电阻为无穷大)，并认为采样信号 $y^*(t)$ 是原信号 $y(t)$ 在采样开关闭合时的瞬时值。经 A/D 转换后，采样信号 $y^*(t)$ 转变成数字脉冲序列 $y(T), y(2T), \dots, y(kT)$ 。 $y^*(t)$ 和 $y(kT)$ 之间仅差 A/D 转换过程中的量化误差。采样信号 $y^*(t)$ 可以描述为

$$y^*(t) = y(t) \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT) \quad (1-1)$$

式中， $\delta(t - kT)$ 表示发生在 $t = kT$ 时刻的理想采样脉冲。

因为已假设为理想采样脉冲，所以 $y^*(t)$ 只与 $y(t)$ 在脉冲出现瞬间的值 $y(kT)$ 有关，而与采样时刻以外的值无关。因而，可将式(1-1)改写为

$$y^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} y(kT) \delta(t - kT) \quad (1-2)$$

在计算机控制系统中，合理选择采样周期 T 是非常必要的： T 过大会损失必要的信息， T 过小会使计算机的负担加重，即存储与运算的数据过多。香农采样定理给出了合理选择 T 的理论指导原则。设原信号频率的最高频率为 $\omega_{\max}$ ，采样频率为 ω_s ，则采样定理指出，采样信号 $y^*(t)$ 唯一地复现原信号 $y(t)$ 所必需的最低采样频率 ω_s 必须满足 $\omega_s \geq \omega_{\max}$ 或 $T \leq \pi / \omega_{\max}$ 的条件。也即采样频率必须大于原信号频谱中最高频率的两倍，才能根据采样信号 $y^*(t)$ 唯一地复现原信号 $y(t)$ 。 τ 的选择应保证在 τ 时间内，原信号基本保持不变，同时尽可能小一些，以便在采样时间 T 以内实现多路采样。

3. 信号的保持

由于采样信号仅在采样时刻有输出值, 其余的时刻输出均为零, 所以在两次采样的中间, 如何保持采样信号是实现计算机控制的另一个重要问题, 即在满足采样定理的条件下, 应该将离散采样信号恢复为被控对象能够感知的连续模拟信号。恢复的方法是采用保持器。

保持器的原理是根据现在或过去时刻的采样值, 用常数、线性函数和抛物线函数等去逼近两个采样时刻之间的原信号。保持器可分为零阶保持器、一阶保持器和高阶保持器。其中零阶保持器是最常用的一种信号保持器, 其信号的保持过程如图 1-4 所示。

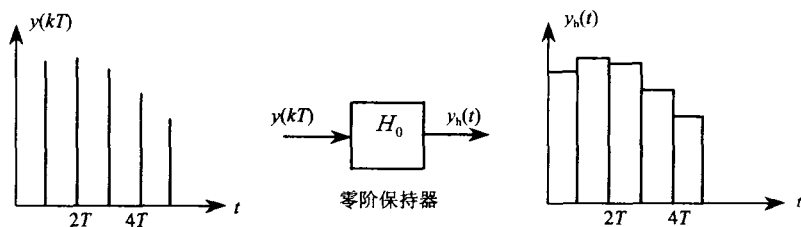


图 1-4 零阶保持器的信号保持过程

从图 1-4 中可看出, 零阶保持器的作用是把当前采样时刻 kT 的采样值 $y(kT)$, 简单地保持到下一个采样时刻 $(k+1)T$, 也就是说, 零阶保持器由 kT 时刻的采样值 $y(kT)$ 按常数外推, 直至下一个采样时刻 $(k+1)T$ 到来后, 换成新的采样值 $y[(k+1)T]$, 继续外推。即

$$y_h(kT+t) = y(kT) \quad 0 \leq t < T \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

由零阶信号保持器将采样信号 $y(kT)$ (图 1-4 中折线的顶点值) 转换成的连续模拟信号 $y_h(t)$ 与原信号 $y(t)$ 的比较如图 1-5 所示。由图知, 只有当采样周期 T 足够小时, 保持器的恢复信号 $y_h(t)$ 才会比较接近原信号 $y(t)$ 。根据零阶保持器的特性, 可得其传递函数为

$$H(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \quad (1-3)$$

式中, T 为采样周期, s 为拉普拉斯(Laplace)运算符。在计算机控制系统中, D/A 转换器通常具有零阶保持器的功能。

一阶保持器具有一阶多项式的形式, 即

$$y_h(kT+t) = a_1 t + a_0 \quad (1-4)$$

由于

$$y_h(kT) = y(kT)$$

$$y_h[(k-1)T] = y[(k-1)T]$$

令 $t=0$ 和 $t=-T$, 可得到

$$a_0 = y(kT)$$

$$a_1 = \frac{y(kT) - y[(k-1)T]}{T}$$

故 一阶保持器可用下式来描述

$$y_h(kT+t) = \frac{y(kT) - y[(k-1)T]}{T} t + y(kT) \quad 0 \leq t < T \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-5)$$

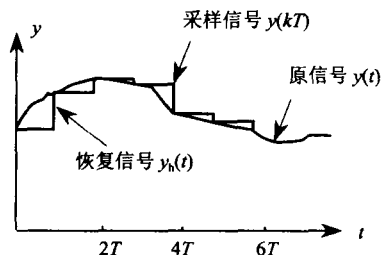


图 1-5 零阶保持器的信号恢复示意图

同理可得高阶保持器的描述形式, 但一般不予采用。因为虽然它可以减少输出的波动程度, 但把固有的滞后引进了系统的响应中; 同时对噪声太灵敏, 且实现起来比较麻烦。

三、计算机控制系统的组成

计算机控制系统与常规控制系统一样，有闭环控制系统，也有开环控制系统；控制对象有连续的生产过程，也有间隙的生产过程；采用的工业控制计算机型号更是千差万别，但无论如何，各类计算机控制系统的组成是大同小异的。如果不包括不同的被控工业对象，计算机控制系统的组成大致可用图 1-6 表示。

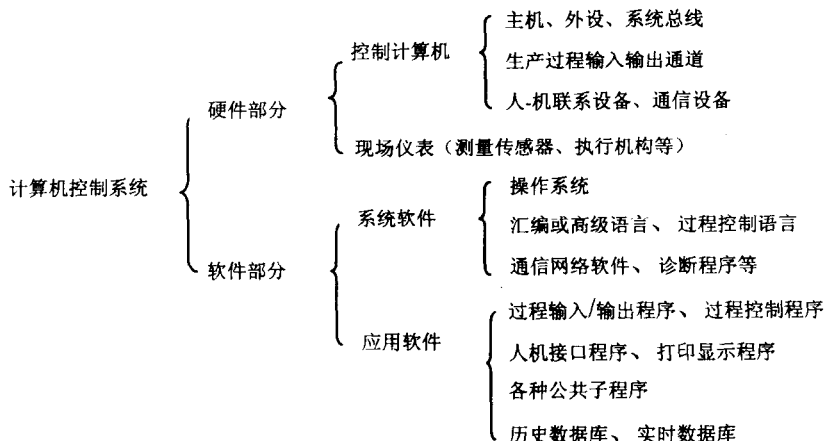


图 1-6 计算机控制系统的组成示意图

图中各主要部分在系统中的作用简述如下。

(1) 主机 由 CPU、ROM、RAM 组成，是计算机控制系统的核心。它根据采集到的实时信息按照预先存在内存储器中的程序，自动进行信息处理和运算，及时选择相应的控制策略，并将控制作用立即输出到生产过程。

(2) 外设 常用的外部设备按功能分成输入设备、输出设备和外存储器。最常用的输入设备是键盘终端，用来输入程序、数据和操作命令。最常用的输出设备是打印机、绘图机、CRT 显示器等，用于显示、打印生产的操作状况、性能指标、生产报表等。常见的外存储器是磁盘、磁带、光盘等，它们兼有输入和输出两种功能。

(3) 生产过程输入/输出通道 包括模拟量和开关量两大类。它们是计算机与生产过程之间信息交换的桥梁，是过程计算机控制系统中必不可少的部分。

(4) 人-机联系设备 包括 CRT 显示器、键盘、专用的操作显示面板或操作显示台等。它们一方面显示生产过程状况，另一方面供生产操作人员操作和显示操作结果。通过人-机联系设备，操作员与计算机之间进行信息交换。

(5) 通信设备 通过通信设备，不同地理位置、不同功能的计算机之间或计算机与设备之间可以进行信息交换。当多台计算机或设备构成计算机网络时，通信网络设备尤显重要。

(6) 现场仪表 包括检测变送仪表、执行机构等。前者的任务是信号的变换、放大和传送，将生产过程中的各种物理量转换成计算机能接受的电信号；后者完成计算机输出控制的执行任务。由于直接与生产过程连接，它们在过程计算机控制系统中占有重要的地位，但本书将不涉及这方面的具体内容，需要时可查阅有关教材或手册。

(7) 系统总线 系统总线分为内部总线与外部总线两大类，其中内部总线在计算机各内部模块之间传送各种控制、地址与数据信号，并为各模块提供统一的电源；外部总线为计算

机系统之间或计算机系统与设备之间提供数字通信。

(8) 系统软件 它管理计算机的内存、外设等硬件设备,为计算机用户使用各种语言创造条件,同时为用户编制应用软件提供环境和方便。

(9) 应用软件 是系统设计人员针对具体生产过程编制的控制和管理程序,其优劣直接影响到系统的控制品质和管理水平。它是控制计算机在特定环境中完成某种控制功能所必需的软件。一般包括过程输入/输出程序、过程控制程序、人-机接口程序、打印、显示程序及各种公共子程序等。应用软件的编制涉及到生产工艺、控制理论、控制设备等各方面知识,通常由用户自行编制或根据具体情况在商品化软件的基础上自行组态以及做少量特殊应用的开发。

四、计算机控制系统的经济效益

企业采用计算机控制系统后的经济效益可分为可计算部分与不可计算部分。可计算的效益是:通过实施计算机控制,可以增加企业的产量或可处理量;改善产品的质量;降低能源消耗与原料消耗,减少成本;设备的利用率提高,维修要求降低;节省劳动力等。不可计算部分的效益指的是企业的知名度和操作人员的整体素质得到提高;操作人员的安全得到更有效的保障;生产和管理的有关信息能及时获得并加以利用;对工况改变的适应性增强;能及时地预报与较好地处理过程与设备事故;减少对环境产生的污染等。例如,据一些采用过程计算机控制系统的制浆造纸企业统计,计算机控制系统投运以后,带来的好处有:产量提高约 10%;节约蒸汽约 15%;产品质量的标准差降低约 30%;化学药品节约 10%;降低原料纤维用量约 2%;减少断纸次数约 60%;提高车速 5%等等。

由于计算机控制系统可以带来明显的经济效益,一般来说,企业投资于计算机控制系统的资金在 1~2 年、甚至几个月即可收回。所以,在工业过程实施计算机控制系统是现代化生产与管理的必需,而不是一种时髦的装饰已成为人们的共识。

第二节 过程计算机控制系统的分类

计算机应用于工业过程控制有各种各样的结构和形式,实现各自不同的功能。若只按照计算机参与控制的形式,计算机控制系统可分为开环控制与闭环控制两大类;若根据系统采用的控制规律,可分为顺序(程序)控制、常规控制(如 PID 控制)、高级控制(或称先进控制,如最优控制、自适应控制、预测控制等)、智能控制等若干类;若是根据系统的应用及结构特点,则可将过程计算机控制系统大致分成计算机巡回检测和操作指导系统、直接数字控制系统、监督控制系统、集散控制系统、现场总线控制系统以及生产集成控制系统等几类。

一、计算机巡回检测和操作指导系统

生产过程中有大量的过程参数需要测量和监视,用计算机以巡回的方式周期性地检测这些参数并完成必要的数据处理任务便是巡回检测系统的任务。这是计算机应用于工业生产过程最早和最简单的一类系统。若在此基础上,系统能根据反映生产过程工况的各种数据,由某种给定的性能指标与控制策略,通过对现场数据的处理、分析与计算,相应地给出操作指导信息,供操作人员参考,便称之为操作指导系统,其结构见图 1-7 所示。

从图中可以看出,这种系统是一种开环系统。过程参数经测量变送器、过程输入通道,定时地被送入计算机,由计算机对来自现场的数据进行分析和处理后,根据一定的控制规律或管理方法进行计算,然后通过 CRT 或打印机输出操作指导信息。

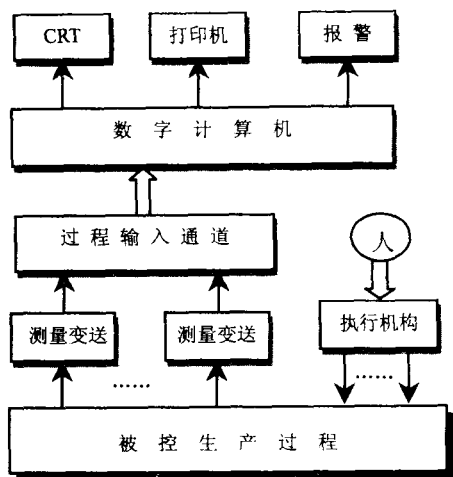


图 1-7 计算机巡回检测和操作指导系统

这种系统的优点是可以用于试验新方案、新系统。如在实施计算机闭环控制之前，先进行这种开环控制的试运行，可以考核计算机工作的正误，还可以用于试验新的数学模型和调试新的控制程序。其缺点是仍需要人工操作，速度受到限制，不能同时控制多个回路。

二、计算机直接数字控制系统

在计算机直接数字控制系统(Direct Digital Control System, 简称 DDC)中，计算机通过过程输入通道(模拟量输入通道 AI 或开关量输入通道 DI)对多个被控生产过程进行巡回检测，根据给定值及控制规律计算出控制指令，经过程输出通道(AO 或 DO)直接去控制执行机构，将各被控变量保持在给定值上。计算机直接数字控制系统框图如图 1-8 所示。

在这种系统中，计算机不仅完全取代模拟调节器直接参与闭环控制，而且只要通过改变程序即可实现一些较复杂的控制规律；它还可以与计算机监督控制系统结合起来构成分级控制系统，实现最优控制；同时也可作为计算机生产集成控制系统的最底层——直接过程控制层，与过程监控层、生产调度层、企业管理层、经营决策层等一起实现工厂(企业)综合自动化。计算机直接数字控制是计算机控制系统的一种最典型的形式，在工业生产过程中得到了非常广泛的应用。

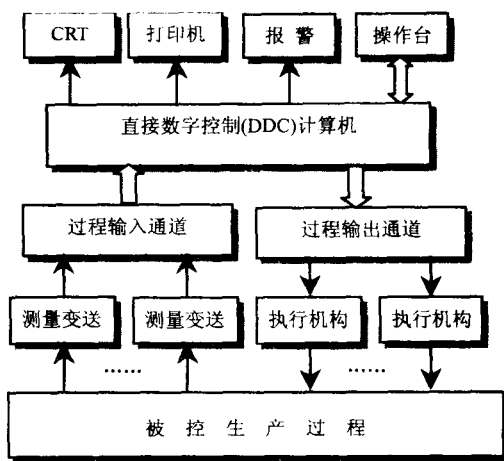


图 1-8 计算机直接数字控制系统框图

还有一种常见的系统是计算机顺序(程序)控制，即计算机按照预先确定的操作顺序和操作方法，根据生产工艺流程的进程(或在满足某些规定的条件时)依次地输出操作信息。比如发电厂的锅炉、汽轮机、发电机的启动阶段和停止阶段，冶金工业中高炉炼铁、转炉炼钢以及各种轧制过程都是十分复杂的顺序操作过程。

三、计算机监督控制系统

计算机监督控制系统(Supervisory Computer Control System, 简称 SCC)通常采用两级控制形式，其框图如图 1-9 所示。

所谓监督控制，指的是根据原始的生产工艺数据和现场采集到的生产工况信息，一方面按照描述被控过程的数字模型和某种最优目标函数，计算出被控过程的最优给定值，输出给下一级 DDC 系统或模拟调节器(已越来越少)；另一方面对生产状况进行分析，作出故障的诊断与预报。所以 SCC 系统并不直接控制执行机构，而是给出下一级的最优给定值，由它们去控制执行机构。当下一级采用 DDC 系统时，其计算机(称为下位机)完成前面所述的

直接数字控制功能。SCC 计算机(称为上位机)则着重于满足某个最优性能指标(包括控制规律和在线优化条件等)的修正与实现,它可以看成是操作指导与 DDC 系统的综合与发展。

SCC 控制系统的主要优点是:它在计算时可以考虑许多常规调节器不能考虑的因素,如环境温度和湿度对生产过程的影响;可以进行过程操作的在线优化,始终如一地使生产过程在最优状态下运行;可以实现先进复杂的控制规律,满足产品的高质量控制要求;可以进行故障的诊断与预报,可靠性好。值得注意的是,生产过程的数学模型往往是监督控制系统能否实现以及运行好坏的关键之一。目前,这种控制方式已越来越多地被应用于较为复杂的工业过程及设备的控制中。

由于计算机 DDC 系统中的计算机直接与生产过程相连并承担控制任务,一台计算机往往要控制几个或几十个回路,而工业现场环境恶劣,干扰多,所以一方面要求 DDC 计算机可靠性高,实时性好,抗干扰能力强,能独立工作;另一方面必须采取抗干扰措施来提高整个系统的可靠性,使之能适应各种工业环境,并合理设计应用软件。所以一般选用微型机和工控机作为 DDC 级的计算机。而 SCC 级承担先进控制、过程优化与部分管理的任务,信息存储量大,计算任务繁重,要求有较大的内存与外存和较为丰富的软件。故一般要选用高档微型机或小型机作为 SCC 级计算机。

四、计算机集散控制系统

计算机集散控制系统(Distributed Control System, 简称 DCS), 又称分布或分散控制系统, 近二十年来发展十分迅速。它以微处理器为核心, 实现地理上和功能上的控制, 同时通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来, 进行集中的监视和操作, 并实现复杂的控制和优化。DCS 的设计原则是分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调。

世界上许多国家包括中国都已大批量生产各种型号的集散控制系统。虽然它们型号各异, 但其结构和功能都大同小异, 都是由以微处理器为核心的基本数字控制器、高速数据通道、CRT 操作站和监督计算机等组成, 其结构框图如图 1-10 所示。集散控制系统有许多优点, 比较突出的一点是提高了系统的可靠性和灵活性。

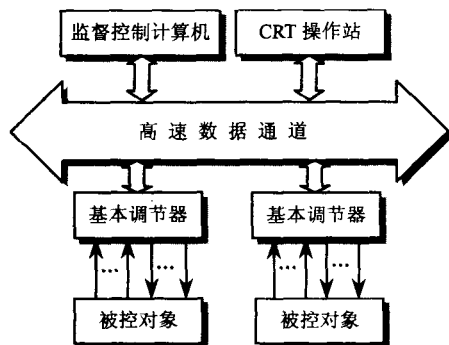


图 1-10 计算机集散控制系统结构示意图

是积木式结构, 构成灵活, 易于扩展; 系统的可靠性高; 采用 CRT 显示技术和智能操作台, 操作、监视方便; 采用数据通信技术, 处理信息量大; 与计算机集中控制方式相比, 电缆和

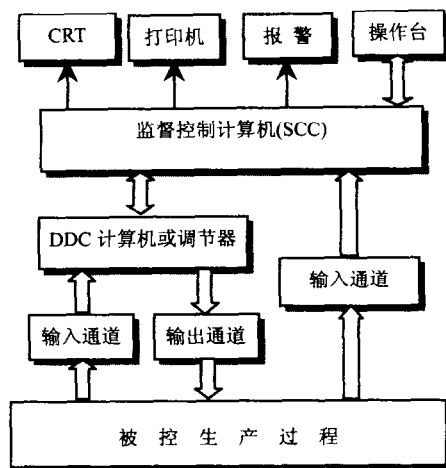


图 1-9 计算机监督控制系统 SCC 示意框图

在计算机控制应用于工业过程控制初期, 由于计算机价格高, 对工业过程采用的是集中控制方式, 以充分利用计算机。但这种控制方式由于任务过分集中, 一旦计算机出现故障, 就要影响全局。DCS 由若干台微机分别承担任务, 从而代替了集中控制的方式, 将危险性分散。并且 DCS

敷缆成本较低, 便于施工。

五、现场总线控制系统

80 年代发展起来的 DCS 尽管给工业过程控制带来了许多好处, 但由于它们采用了“操作站—控制站—现场仪表”的结构模式, 系统成本较高, 而且各厂家生产的 DCS 各有标准, 不能互联。现场总线控制系统(Fieldbus Control System——FCS)是近几年才出现的新一代分布式控制系统结构。它采用了不同于 DCS 的“工作站—现场总线智能仪表”的结构模式, 降低了系统总成本, 提高了可靠性, 且在统一的国际标准下可实现真正的开放式互连系统结构, 因此它是一种正在发展的很有前途的控制系统。

六、工业过程计算机集成制造系统(流程 CIMS)

随着工业生产过程规模的日益复杂与大型化, 现代化工业要求计算机系统不仅要完成直接面向过程的控制和优化任务, 而且要在获取生产全部过程尽可能多的信息基础上, 进行整个生产过程的综合管理、指挥调度和经营管理。由于自动化技术、计算机技术、数据通信技术等的迅速发展, 满足这些要求已不是梦想, 能实现这些功能的系统称之为计算机集成制造系统(CIMS——Computer Integrated Manufacture System), 当 CIMS 用于流程工业时, 简称为流程(CIMS 或 CIPSComputer Integrated Processing System)。流程工业计算机集成制造系统按其功能可以自下而上地分为若干层, 如过程直接控制层、过程监控优化层、生产调度层、企业管理层和经营决策层等, 其结构框图如图 1-11 所示。

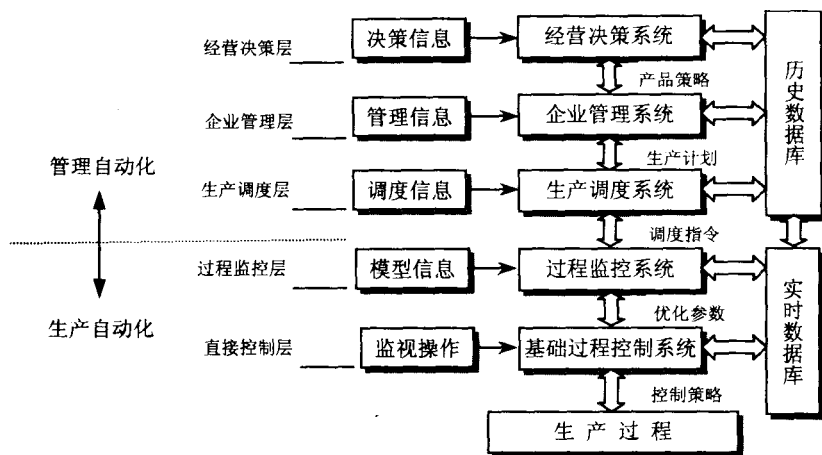


图 1-11 流程工业计算机集成制造系统结构示意图

从图中可以看到, 这类系统除了常见的过程直接控制、先进控制与过程优化功能之外, 还具有生产管理、收集经济信息、计划调度和产品订货、销售、运输等非传统控制的诸多功能。因此, 计算机集成制造系统所要解决的不再是局部最优问题, 而是一个工厂、一个企业乃至一个区域的总目标或总任务的全局多目标最优, 也即企业综合自动化问题。最优化的目标函数包括产量最高、质量最好、原料和能耗最小、成本最低、可靠性最高、对环境污染最小等指标, 它反映了技术、经济、环境等多方面的综合性要求, 是工业过程自动化及计算机控制系统发展的一个方向。

第三节 过程计算机控制系统的设计与实现

计算机控制是一门实践性非常强的技术, 其经济效益只有通过所设计的计算机控制系

统在实际工业过程成功地实施之后才能获得。而用于实际工业过程的计算机控制系统的设计与实现不但需要有自动控制理论和计算机控制技术作为基础,而且需要对被控的工业过程与自动化仪表有相当的了解。虽然工业过程计算机控制系统所控制的对象各不相同,控制方案与具体设计指标也不同,然而系统设计与实现的原则却是相同的。这个原则是:可靠性高,操作性好,实时性强,具有一定的通用性(至少在同行业可以推广),潜在经济效益高。

一、设计过程计算机控制系统的一般步骤

设计过程计算机控制系统的一般步骤大致可分成如下几步。

(1) 总体设计 在设计控制系统之前,要全面了解该被控工业过程,与工艺技术人员一起在需求分析的基础上确定总体的控制方案,包括确定计算机控制系统的结构,系统中的被控变量、控制变量、检测量及安装位置、报警参数等,并计算出系统总的资金投入与可获经济效益。

(2) 建立数学模型 采用过程机理分析、系统辨识或两者相结合的方法,建立被控对象的静态和动态的数学模型。

(3) 控制系统综合 对拟设计的控制系统提出满足一定经济指标及技术指标的目标函数,并寻求满足所提出的目标函数的控制规律。如在最优控制中广泛采用二次型目标函数,运用极大值原理或动态规划,求出最优控制律,使目标函数取到极小值。这里往往利用已建好的数学模型,采用计算机辅助设计控制系统,并进行计算机数字仿真。

(4) 计算机硬件与控制系统工程化设计 对计算机控制系统的硬件提出具体的设计要求,包括对计算机主机及相应外部设备、过程信号检测及变送仪表、过程输入输出接口设备、供电电源及机房、抗干扰措施等提出要求并予以实现。

(5) 计算机软件设计 在与硬件约定的基础上,确定该计算机控制系统的系统软件,包括建立管理和控制该生产过程的实时操作系统,选择软件开发平台等,然后针对实际问题开发具体的应用软件。

(6) 调试与完善 在计算机控制系统安装完毕之后,对控制系统进行实际试运行,针对出现的具体问题进行及时地改进,逐步完善系统的所有功能。

由于不同的被控对象对控制系统的控制要求各不相同,对上述步骤也不可能完全一致,设计人员需根据具体情况取舍。

二、过程计算机控制系统的分析和设计方法

大多数实际的过程计算机控制系统是由处理数字信号的过程控制计算机与连续的被控过程组成的数字信号与连续信号并存的“混合系统”,由此便产生了下述两种对过程计算机控制系统的分析和设计的方法。

1. 基于连续系统进行分析与设计

多年来,连续的过程控制系统的设计已经形成了一套比较系统、成熟、实用的设计方法,并在控制领域为人们熟知。因此,在设计过程计算机控制系统时,人们仍出于习惯地往往采用连续控制系统的设计方法。

基于连续系统考虑控制系统的设计,是在建立了连续的过程数学模型 $G(s)$ 基础上,按连续系统的性能指标进行控制器的分析和设计,得到连续的控制规律 $D(s)$ 。为使其在计算机系统中实现,必须要选择合适的采样周期 T 和离散化方法,将控制规律 $D(s)$ 转换成计算机能够实现的离散控制规律 $D(z)$ 。常用的离散化方法有直接差分法,匹配 z 变换法、双线性变换法等。离散后的控制规律应按离散系统检查控制性能,如不满足控制指标,则需要重新

选择采样周期，或回到连续系统进行重新设计。

这种设计方法对于熟悉常规控制系统设计方法的设计人员来说比较容易接受和掌握，其缺点是对采样周期的选择有较严格的限制，如选择得不好，控制系统往往达不到设计的指标，但若控制对象是一个比较慢的过程，则影响不大。

2. 基于离散系统进行分析与设计

基于离散系统进行控制系统直接设计，首先要获取被控过程的离散数学模型，如脉冲传递函数 $G(z)$ 。如果已经建立的是过程的连续数学模型，则要先选择采样周期 T ，然后将描述连续系统的过程模型转换为描述离散系统的离散数学模型，如可用差分方程、脉冲传递函数或离散状态方程等。在获取过程离散数学模型的基础上，由离散的目标函数进行控制系统设计，得到离散系统的控制规律 $D(z)$ ，它可在计算机系统直接实现。相对于前面的按连续系统设计的方法，按离散系统设计的方法实际上是一种准确的计算机控制系统设计方法，正逐渐得到人们的重视。

需要指出的是，不管是按连续系统进行控制系统设计还是按离散系统进行控制系统设计，都可采用基于经典控制理论的常规控制策略或基于现代控制理论的先进控制策略，而采用哪种控制策略往往与被控对象的过程特点、得到的数学模型以及对系统的控制精度要求有关，而与采用哪种方法并无直接关系。

第四节 过程计算机控制系统的发展概况及趋势

过程计算机控制系统的实现涉及到许多专门知识，包括计算机技术、自动控制理论、过程控制技术、自动化仪表等。因此，过程计算机控制系统的发展与这些相关学科的发展息息相关，相辅相成。回顾工业过程的计算机控制历史，大致经历了 20 世纪 50 年代的起步期，60 年代的试验期，70 年代以来的推广期，80 年代的成熟期和 90 年代的进一步发展期。目前，计算机控制系统已是现代化的大规模工业生产过程中必不可少的组成部分。

众所周知，美国在 1946 年生产出了世界上第一台电子计算机。50 年代中期便有人开始研究将计算机用于工业过程控制。1959 年，世界上第一套工业过程计算机控制系统在美国德州的一个炼油厂正式投运。该系统控制了 26 个流量、72 个温度、3 个压力、3 个成分。控制的主要目的是使反应器的压力最小，确定反应器进料量的最优分配，并根据催化作用控制热水流量以及确定最优循环。

在工业过程计算机控制方面所进行的这些开创性的工作引起了人们的广泛注意。工业界看到了计算机将成为提高自动化程度的强有力的工具，制造计算机的厂商看到了一个潜在的市场，而控制界则看到了一个新兴的研究领域。然而，早期的计算机采用电子管，不仅运算速度慢、价格昂贵，而且体积大、可靠性差，计算机平均无故障时间(MTBF: Mean Time Between Failures)只有 50~100h。这些缺点限制了计算机控制系统在工业上的发展与应用。由于价格高，一台计算机必须承担很多任务方能显示其优越性；又因为可靠性差，计算机主要用于数据处理和操作指导，真正用于直接闭环控制的还不多见。当时这类系统主要应用在炼钢、化工、发电等工业部门，目的是寻找最优的操作条件，进行生产的管理和调度。由于操作条件的寻优是建立在过程静态数学模型基础上的静态寻优问题，而直接的过程控制需要知道过程的动态数学模型。因此，建立一个比较好的过程数学模型便成为工业过程计算机控制发展的关键问题之一。这也促进了以后系统辨识方法的研究和发展。

早期工业过程计算机控制系统很不成熟，工作不稳定，仍然常常需要模拟控制装置对