

计算机控制系统 分析与设计

■ 主 编 张玉明
■ 副主编 权 刚 游华杰



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

计算机控制系统 分析与设计

主 编 张 玉 明
副主编 权 刚 游 华 杰



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以计算机实时控制系统的硬件、系统软件和与生产过程有关的应用软件为线索,系统地阐述了计算机实时控制系统的分析设计方法,对计算机实时控制系统的可靠性问题和数据库技术也作了较详细的讨论。

全书共分8章,包括概论、硬件分析与设计、硬件设计中的可靠性技术、分析基础、分析理论、控制器的设计、实时操作系统分析与设计、数据库技术。书中每章后都有小结和习题。

本书可作为计算机应用专业或自控类专业的教材,也可供有关工程技术人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统分析与设计/张玉明主编. -北京:中国电力出版社,2000.8

ISBN 7-5083-0342-3

I. 计… II. 张… III. 计算机控制系统-实时控制
IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第31093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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年10月第一版 2000年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25印张 566千字

印数0001—3000册 定价39.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

计算机控制领域中的应用是计算机应用的一个重要方向。计算机控制领域涉及计算机硬件、软件涉及控制对象及控制规律,需三方面的理论与技术的结合。为了向电力系统计算机应用及相关专业的学生以及有关的工程技术人员提供计算机在电力系统应用方面的合适教材或参考书,由华北电力大学、武汉大学、东北电力学院长期从事这方面教学、研究和应用开发的教授合作编写了一套计算机在电力系统应用的书籍,《计算机控制系统分析与设计》即其中之一。

从结构上说,计算机实时控制系统一般包括硬件、系统软件 and 与生产过程有关的应用软件(或称实时作业)三大部分,本书即围绕这三大部分讨论计算机实时控制系统分析设计中的有关问题。其中第一章介绍了计算机控制系统的有关概念,第二章讨论了计算机控制系统硬件的分析与设计,重点介绍了计算机与生产过程的接口(过程通道)及常用执行机构驱动控制器的分析设计;可靠性是计算机控制系统所必须的,事实证明,可靠性差的系统不但不能达到预期的结果,反而会造成浪费,甚至会带来灾难,因此在第三章讨论了硬件设计中的可靠性设计问题;第四章至第六章主要介绍了一些常用的控制理论以及如何应用这些理论进行计算机控制系统的设计,并结合电力系统给出了一些设计实例;第七章以微机或单片机为硬件背景,按照自顶向下和自底向上相结合的设计方法讨论了实时操作系统的分析设计;实时数据库是当今计算机控制系统的重要组成部分,因此在第八章介绍了实时数据库和历史数据库系统的基本概念逻辑结构、物理结构及数据库的读写管理。

阅读本书需要计算机组成原理(或微机原理)及操作系统原理基础知识,对于计算机应用专业的学生,应安排在高年级学习,对于从事计算机控制工程的工程技术人员,则可作为一本综合性的参考读物,其中的一些设计实例可能对工作有所帮助。

本书由华北电力大学张玉明教授主编,陈骏林教授主审。第一、二、三章由武汉大学的游华杰编写,其中第三章第五节中的第三、四小节由张玉明和游华杰合写;第四、五、六章由东北电力学院的权刚教授编写,第七、八章由华北电力大学张玉明教授编写。

由于水平有限,书中的缺点和错误难免,敬请广大读者批评指正。



前言

第一章 计算机控制系统概论	1
第一节 生产过程计算机控制的意义	1
第二节 计算机控制的概念	3
第三节 计算机控制系统的组成与功能	7
第四节 计算机控制系统的分类	10
第五节 计算机控制的发展趋势	14
第六节 小结	22
习题	23
第二章 计算机控制系统硬件分析与设计	24
第一节 引言	24
第二节 计算机控制系统硬件设计要点及原则	24
第三节 计算机的选择	27
第四节 计算机与生产过程间的接口	34
第五节 过程通道	36
第六节 开关量输入/输出通道	37
第七节 模拟量输出通道	40
第八节 模拟量输入通道	49
第九节 执行机构的驱动与控制	67
第十节 小结	85
习题	86
第三章 硬件设计中的可靠性技术	88
第一节 引言	88
第二节 可靠性分析	92
第三节 可靠性设计	98
第四节 计算机控制系统中的供电电源	102
第五节 计算机控制系统的抗干扰	107
第六节 接地技术	114
第七节 小结	117

习题	118
第四章 计算机控制系统分析基础	119
第一节 计算机控制系统的组成和结构模型	119
第二节 信号和采样定理	123
第三节 保持器与信号恢复过程中的损失	130
第四节 小结	133
习题	134
第五章 计算机控制系统的分析	136
第一节 概述	136
第二节 差分方程和 Z 变换	137
第三节 Z 变换的性质和定理	147
第四节 Z 的正变换与 Z 的反变换	150
第五节 利用 Z 变换求解差分方程式	155
第六节 脉冲传递函数与脉冲响应	157
第七节 脉冲传递函数法	162
第八节 脉冲传递函数的频率响应	166
第九节 非采样时刻的响应分析	170
第十节 离散状态空间法	173
第十一节 离散状态空间的分析方法	177
第十二节 离散状态方程的最小实现	180
第十三节 离散系统的可控性和可观测性	186
第十四节 小结	192
习题	192
第六章 计算机控制器的设计	195
第一节 研究对象与设计任务	196
第二节 Z 域设计	199
第三节 最小均方误差系统的设计 (最少拍改进之一)	212
第四节 快速响应非相消型控制器设计 (最少拍改进之二)	216
第五节 模型控制算法	220
第六节 模型预报控制	224
第七节 t 域设计——输出反馈型 (1)	226
第八节 t 域设计——输出反馈型 (2) (最少能量控制器设计)	239
第九节 t 域设计——状态反馈型 (1)	243
第十节 t 域设计——状态反馈型 (2)	249

第十一节	状态观测器的设计	253
第十二节	S 域的设计	256
第十三节	前馈控制和串级控制 (抗大干扰控制器)	268
第十四节	多变量系统的解耦控制	271
第十五节	自建模设计	274
第十六节	自适应控制器设计导论	279
第十七节	智能控制简介	293
第十八节	控制算法的计算机实现	294
第十九节	小结	302
习题		303
第七章	实时操作系统分析与设计	304
第一节	引言	304
第二节	实时作业与实时任务	306
第三节	实时操作系统总体设计	310
第四节	任务的控制与管理	316
第五节	存储管理	331
第六节	中断管理	335
第七节	实时钟管理	341
第八节	I/O 设备管理	345
第九节	系统初始化	353
第十节	小结	356
习题		358
第八章	计算机控制系统中的数据库技术	360
第一节	引言	360
第二节	实时数据库系统	361
第三节	实时数据库的结构	362
第四节	实时数据库的访问方式	369
第五节	实时数据库管理软件的分析设计	373
第六节	历史数据库	378
第七节	历史数据库的结构	380
第八节	历史数据库的访问方式	383
第九节	历史数据库的管理	384
第十节	数据库生成技术	387
第十一节	小结	389
习题		390
参考文献		391

第一章

计算机控制系统概论

第一节 生产过程计算机控制的意义

科学技术是第一生产力，是推动经济和社会发展的动力。在经济飞速发展的今天，对科学技术提出了更高的要求。节约能源、降低消耗、保护环境、提高产品质量、提高生产效率、减轻劳动强度等等，而这一切都离不开自动化水平不断提高，离不开信息高速传递和处理，离不开科学的决策与管理。而微电子技术、计算机技术、通信技术、控制理论与技术的发展和运用，使传统的产品、生产工艺、信息处理及传递方式产生了质的飞跃。生产过程（对象）的控制和管理系统以前所未见的面目出现在我们面前。

早期的计算机控制系统主要是以计算机技术和控制理论为基础建立起来的系统。随着其应用与推广，至今与通信技术、电视技术、人工智能、甚至决策管理科学相结合，控制理论也由经典控制理论到近代控制理论进而发展为智能控制和预测控制等，新型控制算法和控制决策被采用到计算机控制系统。这一切使计算机控制系统达到更高层次，它所涉及的知识领域更加广泛。对于高级复杂的计算机控制系统所涉及的理论基础也越来越深。

下面试举出计算机加入生产过程控制后产生的作用与影响。

一、提高可靠性

由于超大规模集成电路密度增加、速度提高及多种多样的专用芯片不断问世，微型计算机或微处理器的速度愈来愈快，功能越来越强，存储器容量越来越大，计算机控制系统中计算机硬件部分更加小型化、紧凑化；又由于近年来微处理器及微机系统价格不断下跌，成本降低，有可能采用1:1或1:N备用的冗余结构的系统，即使系统部分失效时，仍能维持正常运行；工业控制用计算机大多采用模板结构，采用可带电插拔模板技术，使检修更换方便省时；加之系统中利用软件实现对系统进行自诊断、自检测、故障告警等功能，大大提高系统的可维护性和可靠性。

二、实现智能化

由于计算机具有快速和极强的运算能力，所以计算机控制系统中大量的输入信号能得到方便处理。例如，由现场传感器送来的模拟量输入信号，不少具有非线性特性（热电偶就是如此），需要线性化处理，需要零点调整及温度补偿，可通过软件实现这些处理；还有模拟量输入信号进行数字滤波，可有效去除干扰和噪声的不良影响；对多路输入模拟量进

行放大时的自动转换和调整放大倍数，也已完全无需人干预而自动执行。

顺序控制系统过去主要以继电器接触器组成硬件逻辑电路实现。对于操作复杂、联锁多的对象，往往构成的继电器接触器系统也十分庞大和繁杂，不便维护，可靠性也差。现在这方面的产品和应用软件已十分成熟，无论是 PLC (Programmable Logic Controller) 可编程控制器还是 DCS (Distracted Control System) 集散控制系统的生产厂家，都提供了梯形图软件帮助用户开发各种实用的顺序控制程序，以其简捷方便，易学易用受到用户的青睐。而且免除了大量的硬件维修，因为逻辑运算与判断，多种形式的软件定时与计数，计算机完全取代了以往的继电器接触器控制电路。

对于反馈控制系统，我们熟知的如 PID、串级、前馈、Smith 预估算法等等，这些基于经典控制理论的控制算法，早已成功地应用于化工、电力、钢铁及其他工业部门的计算机控制系统。近代控制理论中的状态反馈控制、状态观测与估计、自适应控制、最优控制等等，也在导弹、卫星、国防和工业等领域得到应用，都得力于计算机这一先进工具。到 20 世纪 80 年代，自动控制与人工智能相结合，不断吸收了运筹学、信息论、系统论、模糊数学、实验心理学、仿生学、生理学和系统论等学科的新思想、新技术和研究成果，产生了智能控制，使自动控制理论和技术发展到一个新的阶段。智能控制的确切定义目前在理论界尚有多种定义^[1]，但有一点是共同的，就是研究与模拟人类的智能活动及其控制与信息传递的规律，研制具有仿人智能的工程控制与信息处理系统，用计算机模拟人类智能是智能控制这一新兴交叉学科的基本任务。目前，以专家系统、模糊控制、人工神经网络控制和仿人智能控制为代表的智能控制系统正在各个领域得到应用。

三、投资少而经济效益高

复杂生产过程与对象对自动化水平、可靠性程度、安全性要求很高，而采用了计算机控制系统之后，上述要求才有可能实现。计算机控制系统的造价，相对于复杂生产过程与对象的设备造价往往是低廉的，但它起的作用却是其他东西所不能取代的。

众所周知，火电厂的发电过程是一种能量转换过程。煤燃烧所产生的热能使水转变为蒸汽，蒸汽推动汽轮机的叶片，使热能变为机械能，汽轮机再带动发电机发电，就把机械能转换为电能。发电过程的最大特点在于生产的连续性和无储备性，每时每刻质量和能量的输入和输出都要处于平衡状态，只有如此，才能使生产过程稳定。火电厂生产的复杂性、安全性、运行经济性要求采用计算机控制，因为对于 30 万 kW 及以上机组的火电厂，任何一点小小事故引起的设备损坏，都会导致几十万元甚至数百万元的经济损失，停机一天，少发一天电，造成的直接或间接的经济损失是以千万元计的，而机组运行效率只要提高 0.5%，每年所节约的标准煤也是以多少千吨来计算的。

目前大型火力发电厂大多采用了集散控制系统，实现了分散控制与集中管理相结合。现场控制站（是各种分散在现场的计算机控制系统）将生产过程中的各种实时数据采集并处理后，送到操作员站（也是以计算机为核心的成套设备），在操作员站上可以对运行状态进行监视、事故报警、运行参数的趋势分析及事故追忆，可打印各类报表，可进行一些控制操作。不仅减少了大量仪表表盘和安装位置，重要的是方便了运行人员对汽机、锅炉、发电机的运行监视和管理，减少了事故发生，提高了工作效率，提高了生产的安全可靠性，从

而取得巨大的经济效益。

各种各样的仿真系统也是计算机控制系统应用的例子。纯数字仿真离不开计算机，混合仿真正是利用物理装置和计算机装置相结合，再用软件实现某个实际系统的数学模型，并进行大量运算和控制动作，演绎出实际系统的各种现象的过程。供人们或作研究，或作培训，或作教学之用。如飞行员驾驶的仿真培训系统，火电厂、变电站、电网调度的仿真培训系统，核电站仿真系统等等。都是由计算机控制系统加上其他模拟设备组成。再通过计算机实现各种仿真模型算法，去控制模拟设备，造成一个与实际现场相同的环境。操作人员得到身临其境的感受，得到比实际运行时所获得的更多的操作或者处理故障的机会。模拟实际操作，模拟实际故障处理，从而提高被培训人员的技术素质，也节约了开支。

四、促使管理与控制紧密结合

在现代化企业中，计算机也担负着许多管理任务，如搜集商品信息和情报资料，市场分析和产品销售，制定生产计划和生产调度，原材料供应与仓储管理等等。管理任务通过企业的信息管理系统来实现。若将企业或工厂的生产过程控制系统与信息管理系统通过计算机网络联系起来，实现生产信息和管理信息的高速传输，高速处理，无疑将大大提高管理决策的科学水平，又能尽快使生产适应市场经济对高品质、低成本及高效率的要求。

第二节 计算机控制的概念

计算机控制的应用领域是十分广泛的，有对连续生产过程进行控制的，有对离散生产制造业进行控制的，还有对混合型制造业进行控制的。

一、连续生产过程中的计算机控制

连续生产过程如发电、炼油、化工、冶金、制药、酿酒等等。被控量通常为温度、流量、压力、液面、料面、成分等，计算机控制系统主要用作生产过程监测或者生产过程控制。控制系统通常包括被控对象、测量变送、计算机及输入输出接口、执行机构几大部分。生产过程控制系统大多数为闭环控制系统，计算机相当于一台控制器，控制器的控制规律的设计既用到经典的和现代的控制理论，也用到控制理论和控制技术的最新发展研究成果。下面举例说明。

1. 发电机的计算机控制系统

这是一个闭环控制系统，见图 1-1。控制系统的被控量是发电机电压和转子速度，控制最终的目标是维持这两个量等于给定值。计算机将给定值和反馈通道来的电压和转子转速

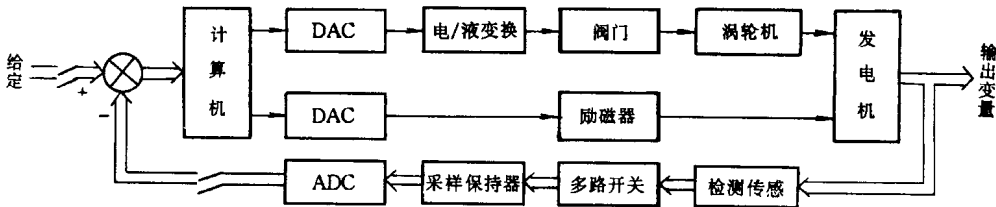


图 1-1 发电机的计算机控制系统

进行分别比较之后,经过计算处理,输出两路控制量,一路作用于发电机的励磁调节装置,控制发电机的电压,一路作用于电-液调节器,控制阀门开度,以调节涡轮机转速。给定量为数字信号,反馈量则由 A/D 变换器转换为数字信号后进入计算机与给定量相比较。反馈通道由传感器检测装置、多路开关、采样保持器和 A/D 转换器组成。

2. 机器人自适应控制系统

图 1-2 是一个机器人手臂控制系统的方框图。该控制系统的目的是使机器人的运动执行机构能在较宽运动范围之内,在负载变化的情况下,跟踪期望的轨迹。

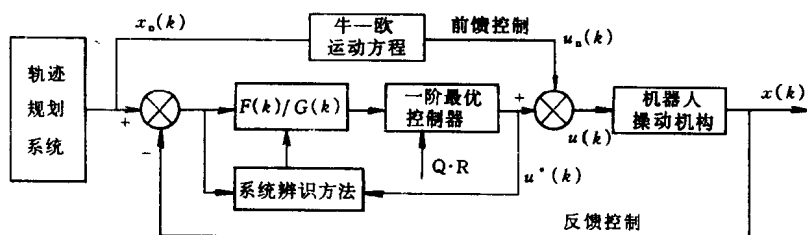


图 1-2 机器人手臂自适应控制

这个控制系统本身存在惯性,负载力矩经常变化,各连杆机构之间存在耦合以及非线性特性,使得控制过程十分复杂。系统中利用了前馈控制来补偿各关节的相互耦合作用,利用反馈控制来减少位置和速度偏差。为了考虑扰动作用之下系统动态方程式中系统参数的变化,采用了实时辨识算法来估计参数。

计算机对图中所示系统状态矩阵 $F(k)$ 和输入矩阵 $G(k)$ 中的参数用系统辨识算法实时估算出来之后,再根据 $F(k)$ 和 $G(k)$ 按设计好的控制规律进行计算,求得满足性能指标为最佳的控制信号 $u^*(k)$,并将前馈控制信号 $u_n(k)$ 按牛-欧运动方程计算出来,将二者代数相加后得到控制信号 $u(k)$,以此为输出,作用到操作机构。在这一系统中,计算机完成的是一个复杂数学模型(参数时变的系统)辨识和控制规律运算的控制器的功能。

3. 单回路计算机控制

计算机控制流量回路的方框图示于图 1-3。流量变送器通过孔板测量压力差,将压力差

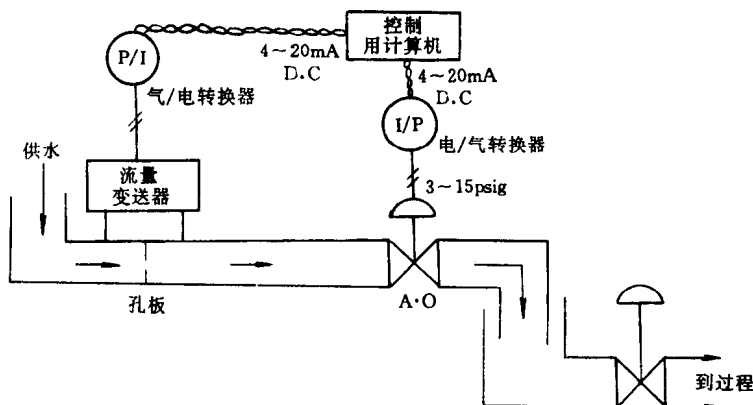


图 1-3 计算机控制流量回路

转换为 200~1100mPa (毫帕) 的气动信号, 经气/电转换器转换成 4~20mA 的电信号, 输入计算机的模拟量输入通道。计算机每隔时间 T (T 为采样周期) 采样一次模拟量信号, 随即进行一次 A/D 转换, 将模拟信号转换为数字信号, 计算机将该值与给定值相比较, 将其偏差按离散化 PID 运算规律进行运算, 得到控制量, 这个控制量是数字信号, 还要经 D/A 转换器转换为模拟量 (4~20mA) 信号, 才能控制电/气转换器, 将电流信号转换为 200~1100mPa 气动信号, 用此信号去驱动阀门控制流量大小。

这个系统中的计算机, 取代了模拟式流量调节仪表, 起着单回路控制器的作用。但是比之模拟式流量调节仪表精度更高、性能更优、控制更灵活。因为, 可以将多种控制规律编成软件包, 固化在计算机的程序存储器中, 以供用户根据具体情况加以调用。

二、离散生产中的计算机控制

离散生产制造业以汽车、飞机、电子、机械制造、纺织、食品等工业为代表。这些工业部门的生产线自动控制常以逻辑控制和顺序控制为主, 控制系统多为开环控制系统。但是要求控制精度高、时间响应快、控制程序能根据工艺要求灵活可变, 还要可靠性高, 易维护。以下举例说明。

1. 定位减速控制

电动机与一个多齿凸轮联动, 电动机拖动的传送带上输送待加工的材料, 用一个接近开关来检测多齿凸轮, 产生脉冲信号送到计算机进行计数。当电动机转动 5000 个脉冲时, 切刀下降将材料切断, 并将脉冲计数器复位; 当电动机转动至 4900 个脉冲时减速, 到 5000 个脉冲时停机。其工作示意图如图 1-4 所示。

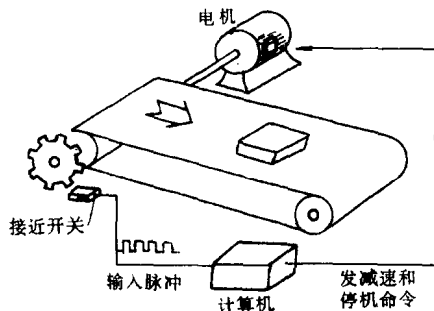


图 1-4 定位及减速控制工作示意图

该控制系统接收的外部输入信号有电机启动、停止按钮信号和接近开关发出的脉冲信号, 输出信号是控制电机高速、减速运转和停止信号, 通常以电磁继电器的触点通断为输出信号的形式。

计算机根据外部启停按钮信号控制电机的启动或停止, 同时, 对接近开关发出的脉冲进行计数, 计到 4900 个脉冲时, 发减速信号, 再到 5000 个脉冲时, 发停机信号并使计数器清零。在使电机停机之前减速, 是为了机械能够准确停机定位。

2. 在产品检查分选中的应用

皮带输送机运送待检查分选的一批产品, 每送上一个产品, 传感器 1 发出一个脉冲信号, 当有次品出现时, 传感器 0 发一个脉冲信号。将传感器 1 发的脉冲信号作为计算机中的移位寄存器的时钟脉冲, 将传感器 0 发的脉冲信号作为移位寄存器的输入数据脉冲, 数据在输入时钟脉冲前沿移位。移位寄存器为 16 位, 移位寄存器的每一位数据可输出, 控制相应的继电器的接通与断开。在时钟脉冲或复位输入未到来之前, 或者电源故障期间, 保持继电器会将数据保存。当起动按钮 (输入 3) 接通时, 这个信号使移位寄存器复位。

如图 1-5 所示, 当检测到次品, 输入 0 发出一个数据脉冲并进入移位寄存器, 等过 6 个

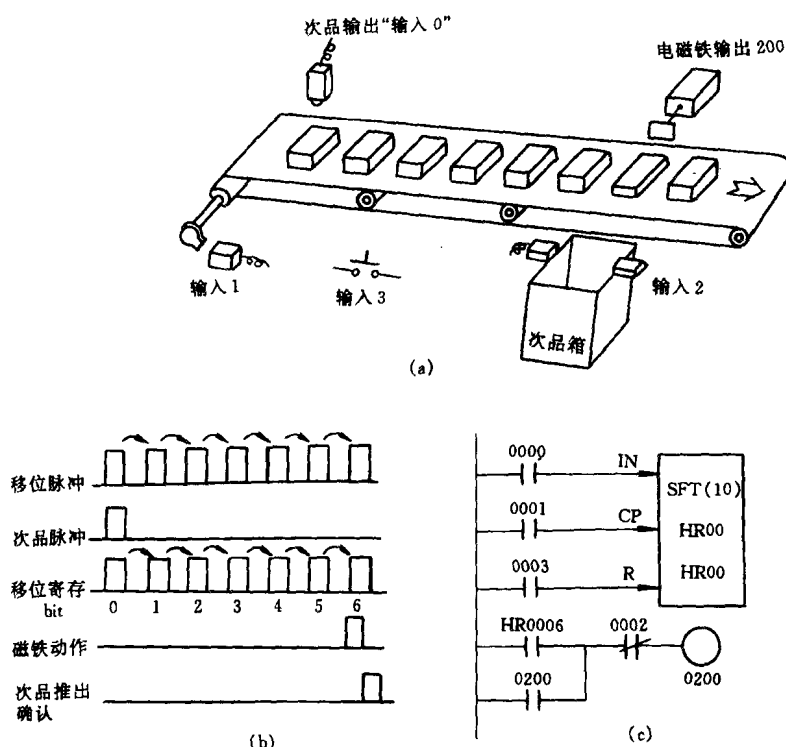


图 1-5 产品检查分选控制

(a) 工作示意图；(b) 时序图；(c) 梯形图

时钟脉冲后，移位寄存器第六位输出使保持继电器动作，其触点闭合接通电磁机构电源，电磁机构动作，将次品分选推出来，传感器 2（输入“2”）检测确认次品已分离出来，让电磁机构断电返回，并进行次品计数。

在这个系统中，计算机的作用是根据外部输入信号，判别是否有次品，并计数，将次品移出（通过移位寄存器），即实现输入—移位—计数—输出功能。

这类控制目前主要采用可编程控制器 PLC 最为适宜，PLC 的时序图和梯形图示于图 1-5 的 (b) 和 (c)。

通过前面的几个例子，已对连续生产过程控制和离散制造业生产控制有了初步印象，对于计算机在这些系统所起的作用和完成的功能有所了解。至于混合型制造业控制，是这两类都包含的控制，其控制系统的例子不再赘述。

计算机控制系统中，计算机作为控制系统的核心部分，处理的信息和数据均是以数字信号形式出现的，这一点不同于以往的连续控制系统，其控制规律的实现依靠计算机的硬件和软件。研究分析计算机闭环控制系统的方法已不同于以往的连续控制系统，本书的第四章、第五章、第六章将讲述这方面的内容。

计算机过程控制系统的典型结构如图 1-6 所示。基本组成部分有被控对象（简称对象或过程）、执行机构、测量变送部分和计算机部分，计算机部分包括计算机主机及输入输出接口和通道等。

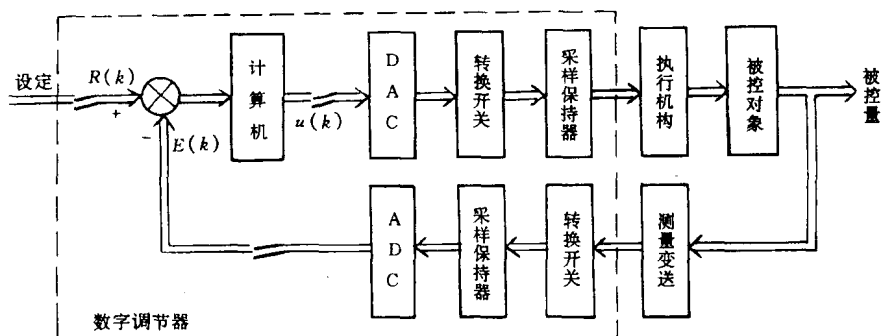


图 1-6 计算机过程控制系统典型结构图

第三节 计算机控制系统的组成与功能

上节中已简述了计算机过程控制系统的基本组成，本节主要就该控制系统的核心部分——计算机的软硬件部分的组成与功能进行阐述。对于顺序控制或逻辑控制系统中的计算机软硬件，因在很多方面与它均有相似之处，也就不一一赘述。

一、硬件组成

主要由主机、过程输入输出通道、人机联系设备和通信设备所组成。

1. 主机

由中央处理器（CPU）和内部存储器（ROM、RAM）组成主机。中央处理器字长有 8 位、16 位、准 32 位或 32 位，常用的有 Intel（公司生产的 80×86 系列微处理器和 Motorola 公司生产的 68000 系列微处理器。目前 Pentium 微处理器和 RISC 即精简指令系统微处理器芯片也得到应用，处理器字长从 32 位发展到了 64 位，主频速度已高达 1000MHz。此外，各种类型的单片机如 Intel 公司出产的 MCS-51 系列（8 位单片机）和 MCS-96 系列（16 位单片机）也得到广泛应用，其主频已达 12MHz。

内部存储器分为 ROM 和 RAM 两种。系统的启动、基本输入输出、自检等监控程序一般都固化在 ROM 中，为了可靠，也常将各种控制运算模块、检测及数据处理模块、通信模块、系统管理等应用程序模块固化于此。ROM 容量视系统大小和复杂程度而定，小的约几十 K，大的数百 K 或者到兆级。有些系统一通电，CPU 马上从 ROM 中取出程序代码，就能投入运行。

RAM 用于存放或取得运行数据文件。现场采集的实时数据以及运算的中间变量、用户在线操作时修改的参数（如设定值、手动操作值、过程变量的上下限报警值、PID 控制的参数值等）均在 RAM 中存取。RAM 的容量可高达 8M 或 16M 以上，用带后备电池的静态存储器 SRAM 或者动态存储器 DRAM 充当。

非易失性读写存储器 E²PROM、NOVRAM 既可像 RAM 一样读出或写入，又可像 ROM 一样在电源掉电时保存数据。E²PROM 是电可擦除可编程只读存储器，主要用作存放允许慢速写入的数据，可以在线修改转储，既可作为系统中的 RAM，也可作为系统中的

ROM 使用。NOVRAM 是不挥发随机访问存储器,实质上它是由 SRAM、锂电池、电源检测和切换开关集成到一起的集成块。它比 E²PROM 存入数据速率快,可在线实时改写,数据保存期可高达 10 年,在工业控制计算机中,常取代磁盘,用作半导体盘。

快速擦写存储器(FLASH MEMORY)是 20 世纪 80 年代后期推出的新型存储器。它能在 1s 内将芯片整体电擦除,能快速编程,每字节编程耗时仅 10 μ s,能高速读取,最大读取时间不超过 135ns,它是 CMOS 芯片,功耗低(最大工作电流 30mA,备用状态下最大电流为 100 μ A)、体积小。目前用 FLASH 取代软盘和硬盘,用 FLASH 做成的固态盘,平均故障间隔时间高达 1.0×10^5 h,读取时间 120~150ns,因而有可能消除硬软盘驱动器所造成的数据瓶颈现象。可以作为计算机的植入式存储器,储存 BIOS(基本输入输出系统)代码,也可装入操作系统,使开机后的等待时间显著缩短,也便于它们的更新。

2. 过程输入/输出通道

生产过程或受控对象与计算机之间的信息传递是通过所谓过程通道——输入/输出通道进行的。生产过程与计算机之间传递的信息是以以下几种信号形式出现的:①模拟量信号;②开关量信号;③数字量信号;④脉冲量信号。不同形式的信号通过不同的电路(或设备)输入或输出。

模拟量信号是指随时间连续变化的物理量信号。如温度、流量、压力、位移、电流、电压等等。通常经传感器和变送器变换之后,变为 0~5V,0~ ± 10 V 电压或者 0~10mA,4~20mA 标准信号进入计算机。通过信号滤波(硬件滤波)、采样、保持及 A/D 转换之后,变为数字量,为 CPU 所接受。再经数字滤波(软件)、运算处理、控制规律运算,或者送出显示、打印,或者经 D/A 转换再重变回模拟量输出,输出模拟量仍然以 0~5V,0~ ± 10 V 或 0~10mA,4~20mA 标准信号形式,送去驱动执行机构。有时在送去驱动执行机构之前还有功率或电压放大,隔离等处理。

模拟量输入/输出通道部分的硬件,是计算机控制系统中除主机之外最重要的组成部分之一,其成本约占整个计算机系统硬件成本 40%左右,其性能好坏直接关系整个控制系统性能。

开关量信号是只有 0 和 1 两种状态的信号。生产设备中电气开关的断开与闭合(如光电开关、接近开关、微动开关、继电器、接触器等)或者传感器反映两种状态的高低信号电平平均属此类。

某些数字传感器的输出为二进制编码信号(如测量转角或转速的光电编码盘),某些仪表的测量值以 BCD 码输出与计算机接口,也有些仪表以脉冲量形式输出(如脉冲电度表)给计算机,还有经 V/F 变换器变换的脉冲量信号。

计算机的输出也有以开关量或数字量形式输出的,如步进电机的驱动信号就属于数字量输出,更多的则是通过继电器,晶闸管、三极管等的通断来控制外部设备。

开关量信号、数字量与脉冲量信号与计算机的接口,大多经光电耦合器隔离。光电耦合器切断了外部电路与计算机电路在电气上的联系,既有足够高的隔离电压水平(2.5kV 以上),又保证了信号的可靠传输。

3. 人机联系设备

人机联系设备通常包括显示器(CRT)、数码显示器、打印机、绘图仪、键盘、操作台、

磁盘与磁带外部存储器等。操作台上往往是大屏幕 CRT、工业键盘、轨迹球、打印设备等总和。

人机联系设备在计算机控制系统中有三项作用：①显示生产过程状态信息，如简单的工况和过程参数的数码显示，工艺流程图及动态参数变化曲线在 CRT 上的显示，各种报警信号的提示等；②供操作人员发布操作命令，设置与修改运行状态和参数，进行人工干预；③打印输出各类报表及报警信息。

在较复杂的生产过程控制系统，常采用集散系统 DCS 控制，DCS 中人机操作设备分为两套，一套是供操作运行人员使用的操作员站，只做监视、运行操作之用。另一套是供系统管理人员用的所谓工程师站，除具有操作员站的所有功能之外，还有系统管理、修改程序、系统设置、系统组态（应用组态软件包生成应用系统程序的过程）等功能。

4. 通信设备

早期的计算机控制系统是集中式的，一台计算机或一个微处理器控制一个回路，完成一个小系统的控制功能。随着系统规模扩大，功能复杂，有时甚至几十到上百个过程变量的采集、监视与处理都集中于一台计算机上，这台计算机一旦出现故障，整个系统将瘫痪。而且，这种集中式系统，现场信号线引向控制室的计算机，有电缆多、费用高、易受干扰等弊病。于是，控制功能分散、管理集中、分层分布式结构的设计思想导致集散控制系统应运而生。当今，这类系统已成为过程控制与监测系统的主流。

集散控制系统的特点是多台微机面向生产现场，对单台设备或单回路控制，形成过程控制与监视单元，而将操作与管理、显示与报警乃至打印报表等功能集中，形成操作站，还可进一步与管理信息系统相连。在上一层次与下一层次计算机之间，在同一层次各台微机之间，就有数据通信的要求。计算机通信与计算机网络技术渗透到集散控制系统之中，成为不可缺少的一部分。

计算机与计算机之间，计算机与外部设备之间，数据通信的基本方式有两种：并行通信和串行通信。

并行通信方式是数据所有位同时传送，传送速度快，但是因为数据每一位都需要一条传输线，所以通信成本高，只适用于近距离计算机或设备之间的数据通信。适用于并行通信的接口芯片有 Z80-PIO，8255A-PPI，MC6821-PIA 等。适用于并行通信的总线有 IEEE-488。该总线标准规定传输数据信号为负逻辑（低电平为逻辑 1， $\leq 0.8V$ ，高电平为逻辑 0， $\geq +2.0V$ ），传输速率 $\leq 10\text{Mbit/s}$ ，总线上最多可连接设备为 15 个，总线长度不超过 20m。

串行通信方式是数据逐位顺序传送，只需一对数据传输线，因此能节省传输线。但是串行通信速度比并行通信慢。目前随通信技术发展，不断提高了串行通信速度，计算机网络均采用串行通信方式。适用于串行通信的接口芯片有 Z80-SIO，8251A-PCI，MC6850-ACIA 等。适用于串行通信的总线有 RS-232-C 和 RS-422-A。

RS-232-C 总线专门用于数据终端设备 DTE 和数据通信设备 DCE 之间的串行通信。RS-232-C 总线分别定义了机械特性、电气特性和功能的规程特性。它是国际标准化组织 (ISO) 提出的网络体系“开放系统互连”参考模型的物理层的接口协议之一。RS-232-C 接

口标准规定 DTE 与 DCE 之间通信距离 $\leq 15\text{m}$, 信号传送速率 $\leq 20\text{kbit/s}$ 。因为每个信号用一根导线, 采用单端输入和公共信号地线, 所以容易引起串扰。

RS-422-A 比 RS-232-C 总线接口有所改进, 规定每个信号线 (发送和接收信号) 使用两根导线, DTE 与 DCE 之间无公共地线, 用双端差动输入, 串扰极小。传送速率最高可达 10Mbit/s (距离 $\leq 10\text{m}$), 速度为 100kbit/s 以下时, 距离最多可达 1km 。

在计算机控制系统中, 计算机与计算机之间、计算机与仪表、计算机与 PLC 及其他智能终端之间都常使用上述接口作串行通信接口。在远距离通信的情况下, 还必须采用调制解调器 (MODEM), 在需要通信的两端均需加装这个设备。因计算机网络目前也已加入到计算机控制系统之中, 所以 RS-232-C 和 RS-422-A 接口标准, 不仅仅用于音频调制解调器, 还用于公用数据网络接口、电报、自动呼叫设备等。

二、软件组成

计算机控制系统中的软件有系统软件和应用软件两大类。

系统软件是一组支持开发、生成、测试、运行和程序维护的软件, 一般为面向计算机的通用软件。包括操作系统、数据库管理系统、通信网络管理系统、编程语言 (高级语言、汇编语言、面向过程语言)、系统工具软件包 (如系统配置、TCL 编辑/编译、显示生成器、记录生成器、历史库生成器) 等。

应用软件是针对生产或管理而编制的、适用于具体对象的控制和管理软件。从软件功能讲有以下几部分:

(1) 实时监测与控制软件。

包括过程输入/输出程序, 如对 A/D 和 D/A 变换, 对开关量和数字量 (脉冲量) 采集或者输出, 对采样数据的处理, 对控制规律的运算、控制输出等等。

(2) 人机界面软件。

操作台及键盘各种命令处理程序、打印程序、各种显示程序 (数码显示、CRT 显示)。

(3) 数据通信与网络管理软件。

(4) 系统维护、测试、自检软件。

(5) 实时及历史数据库软件。

计算机实时控制系统的一个基本要求就是要使信号的输入、处理、运算和输出均在极短的时间之内完成, 并根据工况变化迅速作出反应, 这种实时性要求有时甚至很高。

要实现和满足实时性要求, 不仅仅取决于硬件的响应速度, 也取决于软件的调度及运行时间。其性能好坏也不仅仅取决于硬件性能, 也同样取决于系统软件和应用软件的性能。

第四节 计算机控制系统的分类

从计算机首次应用于控制生产过程 (1959 年美国 TRW 公司和 TEXAO 公司联合研制的 TRW300 计算机控制系统在美国德州阿塞港炼油厂聚合装置上投运成功), 到现在已过去了近 40 年, 其间经历了从单机控制到多机控制, 从简单到复杂, 从集中式控制到分级 (分层) 分布式控制, 从单纯控制到将管理和控制相结合的发展过程。