

工业自动化仪表系列丛书

工业控制计算机系统 及其应用

主编 刘士荣
参编 吕强 史旭华
蓝艇 陈雪亭



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TP273/494

2008

工业自动化仪表系列丛书

工业控制计算机系统 及其应用

主	编	刘士荣	
参	编	吕强	史旭华
		蓝艇	陈雪亭

机械工业出版社

本书从工业控制计算机、输入输出接口与过程通道、计算机控制系统的控制算法、工业控制网络技术、计算机控制系统软件技术、计算机控制系统设计与实现等方面介绍了工业控制计算机技术。

本书可供从事工业自动化仪表专业类工程技术人员参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业控制计算机系统及其应用 / 刘士荣主编. — 北京: 机械工业出版社, 2008.1

(工业自动化仪表系列丛书)

ISBN 978-7-111-23055-7

I. 工… II. 刘… III. 工业控制计算机—计算机控制系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 193593 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张沪光 责任编辑: 赵玲丽 责任校对: 申春香

封面设计: 姚毅 责任印制: 杨曦

北京外文印刷厂印刷

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·14.125 印张·377 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23055-7

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

工业自动化仪表系列丛书

编辑委员会

主任委员：张继培

副主任委员：史美纪（常务） 吴钦炜

王璐璐 罗命钧 秦起佑

张沪光 张永江

委 员：薛生虎 杜水友 梁国伟

蔡武昌 李竞武 陈晓竹

吴 哈 彭 瑜 张雪申

刘士荣 俞金寿 汪克成

刘建侯 徐建平 凌志浩

肖 鹏

编写说明

工业自动化仪表是国民经济各部门重要的现代技术装备之一，广泛用于冶金、电力、石油、化工、轻工、纺织、交通、建筑、食品、医药、农业、环保以及日常生活等各个领域。

工业自动化仪表是对物质世界的信息进行自动测量与控制的基础手段和设备，是信息产业的源头和组成部分。

为了认真总结国内外工业自动化仪表的先进经验，提高我国工业自动化仪表的科研、生产、应用水平。经中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所、机械工业信息研究院和中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会共同研究，决定组织编写、出版“工业自动化仪表系列丛书”。

目前，首先陆续出版以下 16 种：《温度测量技术及仪表》、《压力测量技术及仪表》、《流量测量技术及仪表》、《物位测量技术及仪表》、《机械量测量技术及仪表》、《物性分析技术及仪表》、《显示调节技术及仪表》、《可编程序控制器及其应用》、《控制阀选型和应用》（原名执行器）、《过程控制系统和应用》、《仪表可靠性工程和环境适应性技术》、《仪表本安防爆技术》、《集散控制系统及其应用》、《工业控制计算机系统及其应用》、《现场总线与工业以太网》和《流程分析技术及仪表》。

本系列丛书内容完整，系列齐全，基本上反映了工业自动化仪表技术与产品的全貌；文字力求深入浅出，通俗易懂。系列丛书既可作为从事工业自动化仪表专业的工程技术人员及广大用户的参考书籍，也可作为大专院校教材及科研、设计、制造、使用单位工程技术人员的培训教材。

编写出版“工业自动化仪表系列丛书”，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希望广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

“工业自动化仪表系列丛书”编辑委员会

前 言

本书为“工业自动化仪表系列丛书”之一。

随着微电子、自动控制、计算机硬件与软件、传感器与检测、计算机通信与网络等技术的发展,已使得计算机控制技术和应用得到了快速发展。工业控制计算机系统已经广泛地应用于工业、国防和民用的各个领域,尤其是成为现代工业和现代国防不可缺少的重要组成部分。计算机控制技术已经成为从事工业自动化及仪表专业类工程技术人员必须掌握的知识和技术。为此,特编写本书。

全书共7章。第1章是绪论,简要介绍了计算机控制系统的基本概念、组成与典型结构,计算机控制系统的发展概况及趋势。第2章是工业控制计算机,包括了工业控制计算机特点、系统结构和总线结构、总线型工业控制计算机、工业控制器和测控仪表。第3章是输入输出接口与过程通道,包括数字量(开关量)输入输出通道、模拟量输入输出通道、信号调理、过程通道的抗干扰和测量数据的预处理。第4章是计算机控制系统的控制算法,简要介绍了计算机控制系统理论的基础知识,包括了数字PID控制算法及其各种改进算法、最小拍控制及其改进算法、纯滞后控制、模型预测控制、模糊控制。第5章是工业控制网络技术,介绍了计算机数据通信和计算机网络的基础知识,包括了分布式计算机控制系统、现场总线和工业以太网。第6章是计算机控制系统软件技术,包括了计算机控制系统软件的组成和功能,实用数据结构及算法,实时数据库及设计,计算机控制系统的软件设计和工业控制组态软件。第7章是计算机控制系统设计与实现,包括了计算机控制系统的设计原则与步骤,计算机控制系统的工程设计,计算机控制系统的可靠性技术,并讨论了两个应用

VI

系统的设计实例。

本书由杭州电子科技大学刘士荣教授主编和审阅。参加编写人员有史旭华教授(第2、3章部分内容)、陈雪亭副教授(第4章部分内容)和蓝艇讲师(第5、6章部分内容),其余由刘士荣和吕强博士编写并统稿。黄国辉高级工程师、孔亚广副教授为本书编写提供了相关资料。

本书在编写过程中,引用了参考文献所列的论著、教材和论文的有关内容,在此谨向这些作者表示衷心感谢。

由于水平有限,缺点和不足在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2007年7月于

杭州下沙高教园区

目 录

编写说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统概述	1
1.1.1 计算机控制系统一般概念	1
1.1.2 计算机控制系统的组成	3
1.1.3 计算机控制系统的典型结构	6
1.2 计算机控制系统性能	11
1.2.1 计算机控制系统性能指标	11
1.2.2 控制对象对控制性能的影响	12
1.3 计算机控制系统的发展趋势	13
第 2 章 工业控制计算机	17
2.1 工业控制计算机的特点与组成结构	17
2.1.1 工业控制计算机的特点	17
2.1.2 工业控制计算机的组成结构	19
2.2 工业控制计算机的总线结构	23
2.2.1 总线结构概述	23
2.2.2 常用内部总线	25
2.2.3 常用外部总线	42
2.3 总线型工业控制计算机	53
2.3.1 工业控制计算机 (IPC)	53
2.3.2 嵌入式工业控制机	58
2.4 工业控制器与测控仪表	66
2.4.1 数字调节器	66
2.4.2 分布式数据采集控制模块	69
2.4.3 智能测控仪表	71
第 3 章 输入输出接口与过程通道	79

3.1 数字量(开关量)输入输出通道	80
3.1.1 数字量(开关量)输入通道	81
3.1.2 数字量(开关量)输出通道	83
3.1.3 工业 PC 数字量(开关量)输入输出模板	85
3.2 模拟量输入接口与通道	86
3.2.1 信号调理	87
3.2.2 多路转换开关	100
3.2.3 可编程增益放大器(PGA)	103
3.2.4 采样保持器	105
3.2.5 A/D 转换器及其接口	110
3.2.6 模拟量输入模板设计举例	119
3.3 模拟量输出接口与通道	121
3.3.1 模拟量输出通道	122
3.3.2 D/A 转换器及其接口	123
3.3.3 电压/电流(V/I)转换电路	127
3.4 过程通道的抗干扰	130
3.4.1 干扰源与干扰的耦合	130
3.4.2 过程通道抗干扰措施	135
3.5 测量数据的预处理	141
3.5.1 数字滤波	141
3.5.2 线性化处理与标度变换	144
3.5.3 系统误差的自动校正	146
3.6 输入输出通道模板	148
第 4 章 计算机控制系统的控制算法	152
4.1 计算机控制系统的数学描述	152
4.1.1 z 变换	152
4.1.2 计算机控制系统的数学模型	157
4.1.3 计算机控制系统的稳定性和稳态误差	160
4.2 数字 PID 控制算法	162
4.2.1 模拟 PID 控制	162
4.2.2 数字 PID 控制算法	163
4.2.3 改进的数字 PID 控制算法	164
4.2.4 数字 PID 控制器的参数整定	170

4.2.5	数字 PID 控制器的工程实现	174
4.3	最小拍控制系统设计	182
4.3.1	最小拍控制器设计	183
4.3.2	最小拍无纹波控制系统设计	190
4.4	纯滞后控制	192
4.4.1	施密斯 (Smith) 预估控制	192
4.4.2	大林 (Dahlin) 算法	194
4.5	模型预测控制	197
4.5.1	模型预测控制原理	197
4.5.2	模型算法控制 (MAC)	199
4.5.3	动态矩阵控制 (DMC)	203
4.5.4	预测控制软件包	208
4.6	模糊控制	211
4.6.1	模糊控制系统的基本结构	211
4.6.2	模糊控制的数学基础	213
4.6.3	模糊控制器的设计	220
4.6.4	模糊 PID 控制器	228
第 5 章	工业控制网络技术	231
5.1	引言	231
5.1.1	工业控制网络的发展	231
5.1.2	工业控制网络的特点和分类	232
5.2	计算机数据通信	234
5.2.1	数据通信系统	234
5.2.2	数据交换技术	241
5.2.3	差错控制技术	247
5.3	计算机网络	249
5.3.1	计算机网络概述	249
5.3.2	网络体系结构	251
5.3.3	局域网技术	258
5.4	分布式控制系统	271
5.4.1	分布式控制系统概述	271
5.4.2	基于 IPC 的分布式控制系统	276
5.4.3	基于 PLC 的分布式控制系统	283

5.5 现场总线控制系统	286
5.5.1 CAN 现场总线	288
5.5.2 LonWorks 现场总线	291
5.5.3 Profibus 现场总线	296
5.5.4 FF 现场总线	298
5.5.5 HART 通信协议	302
5.6 工业以太网	307
5.6.1 工业以太网概述	307
5.6.2 工业以太网种类	310
第 6 章 计算机控制系统的软件技术	314
6.1 计算机控制系统软件概述	314
6.1.1 计算机控制系统软件的构成	314
6.1.2 计算机控制系统软件的功能	315
6.2 实用数据结构	316
6.2.1 数据结构基本概念	316
6.2.2 数据查找与数据排序	325
6.3 实时数据库技术	332
6.3.1 数据库技术概述	332
6.3.2 实时数据库	343
6.4 计算机控制系统的软件设计	353
6.4.1 计算机控制系统操作系统的选择	353
6.4.2 计算机控制系统实时数据库的选择	358
6.4.3 计算机控制系统应用软件的构建	359
6.4.4 计算机控制系统应用软件编程的基本方法	364
6.5 工控组态软件	366
6.5.1 工控组态软件概述	366
6.5.2 工控组态软件的开发及调试	373
6.5.3 应用系统组态的基本步骤	378
第 7 章 计算机控制系统的设计与实现	380
7.1 计算机控制系统设计的原则与步骤	380
7.1.1 计算机控制系统设计的原则	380
7.1.2 计算机控制系统设计的步骤	382
7.2 计算机控制系统的工程设计	388

7.2.1	系统总体方案设计	388
7.2.2	硬件的工程设计	390
7.2.3	软件的工程设计	392
7.2.4	系统的调试与运行	395
7.3	计算机控制系统可靠性设计	397
7.3.1	系统供电抗干扰措施	397
7.3.2	系统接地抗干扰措施	398
7.3.3	系统软件抗干扰措施	403
7.3.4	空间抗干扰措施	408
7.3.5	CPU 抗干扰措施	409
7.4	计算机控制系统设计举例	412
7.4.1	基于工业 PC 的计算机测控系统设计	412
7.4.2	基于网络的计算机测控系统设计	419
附录		435
附录 A 符号表		435
附录 B 符号缩略语表		436
参考文献		439

第1章 绪 论

计算机控制系统是利用计算机的硬件和软件代替自动控制系统中的控制器,以自动控制技术、计算机技术、检测技术、计算机通信与网络技术为基础,利用计算机快速强大的数值计算、逻辑判断等信息加工能力,使得计算机控制系统可以实现除常规控制以外的更复杂的控制策略和辅助功能。计算机控制已经从简单的单回路、单机控制发展到复杂的集散控制系统、计算机集成制造系统等。另外,由于计算机的微型化、网络化、性价比的上升和软件功能的日益强大,计算机控制系统几乎可以用于任何场合:实时控制、实时监控、数据采集、信息处理等。在化工、电力、冶金、建材、制药、机电、纺织、食品以及公用事业工程等行业中,各类先进的计算机控制系统正在发挥着巨大的作用。

本章主要介绍计算机控制系统的一般概念、性能指标以及计算机控制系统的发展趋势。

1.1 计算机控制系统概述

自动控制系统通常由被控对象、检测传感装置、控制器等组成。控制器既可以由模拟控制器构成,也可以由数字控制器构成。在计算机控制系统中,用计算机代替自动控制系统中的常规控制设备,实现对被控对象的有效控制。

1.1.1 计算机控制系统一般概念

计算机控制系统由工业控制计算机(包括硬件、软件和网络)和生产过程(包括被控对象、检测传感器、执行机构)两大部分组成。典型计算机闭环控制系统如图1-1所示。该系统的过程(被控对象)输出信号 $y(t)$ 是连续时间信号,用测量传感器检测被控对象的被控参数(如温度、压力、流量、速度、位置等

物理量)，通过变送器将这些量变换为一定形式的电信号，由模/数 (A/D) 转换器转换成数字量反馈给控制器。控制器将同反馈信号对应的数字量与设定值比较，如有误差则控制器产生相应的控制量，经过数/模 (D/A) 转换器转换成连续控制信号 $u(t)$ 来驱动执行机构工作，力图使得被控对象的被控参数值与设定值保持一致。这就构成了计算机闭环控制系统。

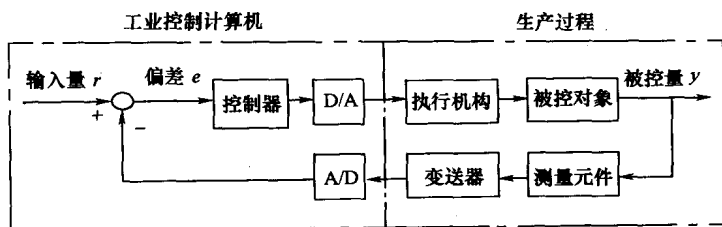


图 1-1 典型计算机控制系统

如将图 1-1 中的具有变送器和测量元件的反馈通道断开，这时被控对象的输出与系统的设定值之间没有联系，这就是计算机开环控制系统。它的控制是直接根据给定信号去控制被控对象，这种系统本质上不会自动消除控制系统误差。它与闭环控制系统相比，控制结构简单，但性能较差，通常用于对控制要求不高的场合。

计算机控制系统可以充分发挥计算机强大的计算、逻辑判断与记忆等信息加工能力。只要运用微处理器的各种指令，就能编写出相应的控制算法的程序，微处理器执行该程序就能实现对被控参数的检测和控制。由于计算机处理的输入输出信号都是数字量，因此在计算机控制系统中，需要有将模拟信号转换为数字信号的模/数 (A/D) 转换器，以及将数字信号转换为模拟信号的数/模 (D/A) 转换器。除了这些硬件之外，计算机控制系统的核心是控制程序，它的执行过程如下：

(1) 实时数据采集 对被控参数按一定的采样时间间隔进行检测，并将结果输入计算机。

(2) 实时计算 对采集到的被控参数进行处理后, 按预先设计好的控制算法进行计算, 决定当前的控制量。

(3) 实时控制 根据实时计算得到的控制量, 通过 D/A 转换器将控制作用于执行机构。

(4) 实时管理 根据采集到的被控参数和设备的状态, 对系统的状态进行监督与管理。

由以上可知, 计算机控制系统是一个实时控制系统。计算机实时控制系统要求在一定的时间内完成输入信号采集、计算和控制输出, 如果超出这个时间, 也就失去了控制的时机, 控制也就失去了意义。上述测、算、控、管的过程不断重复, 使整个系统按照一定的动态品质指标进行工作, 并且对被控参数或设备状态进行监控, 对异常状态及时监督并做出迅速的处理。

另外, 在计算机控制系统中存在着两种截然不同的信号, 即模拟(连续)信号和数字(离散)信号。以计算机为核心的控制器的输入输出信号和内部处理信号都是数字信号, 而生产过程的输入输出信号都是模拟信号, 因而对于计算机控制系统的分析和设计就不能完全采用连续控制理论, 需要运用离散控制理论对其进行分析和设计。

1.1.2 计算机控制系统的组成

从图 1-1 可见, 简单地讲, 计算机控制系统是由工业控制计算机和生产过程两大部分组成的。工业控制计算机是计算机控制系统中的核心装置, 是系统中信号处理和决策的机构, 相当于控制系统的神经中枢。生产过程包含了被控对象、执行机构、测量变送等装置, 从控制的角度看, 可以将生产过程看作广义被控对象。虽然计算机控制系统中的被控对象和控制任务多种多样, 但是就系统中的计算机而言, 计算机控制系统其实也就是计算机系统, 而系统中的广义被控对象可以看作是计算机外部设备。

计算机控制系统和一般计算机系统一样, 也是由硬件和软件两部分组成的。

1. 计算机控制系统硬件

计算机控制系统的硬件主要由主机、外部设备、过程输入输出通道和生产过程组成，如图 1-2 所示。现对各部分作简要说明。

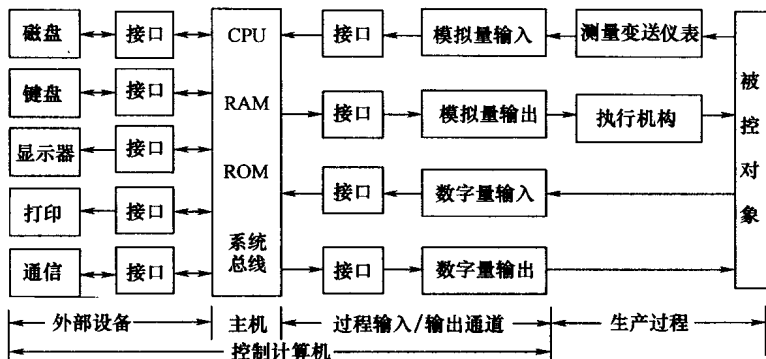


图 1-2 计算机控制系统硬件组成框图

(1) 主机 主机由 CPU 和内存储器（简称为内存，包括 RAM 和 ROM）通过系统总线连接而成，是整个控制系统的核心。它按照预先存放在内存中的程序指令，由过程输入通道不断地获取反映被控对象运行工况的信息，按程序中规定的控制算法，或操作人员通过键盘输入的操作命令自动地进行信息处理、分析和计算，做出相应的控制决策，并通过过程输出通道向被控对象及时地发出控制命令，以实现对被控对象的自动控制。

(2) 常规外部设备 计算机的常规外部设备有 4 类：输入设备、输出设备、外存储器和网络通信设备。

1) 输入设备：最常用的有键盘，用来输入（或修改）程序、数据和操作命令。鼠标也是一种常见的图形界面输入装置。

2) 输出设备：通常有阴极射线管（CRT）显示器、液晶显示器（LCD）或发光二极管（LED）显示器、打印机和记录仪等。它们以字符、图形、表格等形式反映被控对象的运行工况和有关的控制信息。

3) 外存储器: 最常用的是磁盘(包括硬盘和软盘)、光盘和磁带机。它们具有输入和输出两种功能, 用来存放程序、数据和备份重要的数据, 作为内存储器的后备存储器。

4) 网络通信设备: 用来与其他相关计算机控制系统或计算机管理系统进行连网通信, 形成规模更大、功能更强的网络分布式计算机控制系统。

(3) 过程输入/输出通道 过程输入/输出通道, 又简称为过程通道。被控对象的过程参数一般是非电物理量, 必须经过传感器(又称一次仪表)变换为等效的电信号。为了实现计算机对生产过程的控制, 必须在计算机与生产过程之间设置信号的传递、调理和变换的连接通道。过程输入/输出通道分为模拟量和数字量(开关量)两大类型。

(4) 生产过程 生产过程包括被控对象及其测量变送仪表和执行机构。测量变送仪表将被控对象需要监视和控制的各种参数(如温度、流量、压力、液位、位移、速度等)转换为电的模拟信号(或数字信号), 而执行机构将过程通道输出的模拟控制信号转换为相应的控制动作, 从而改变被控对象的被控量。检测变送仪表, 电动和气动执行机构, 电气传动的交流、直流驱动装置是计算机控制系统中的基本装置。

2. 计算机控制系统软件

计算机控制系统的硬件是完成控制任务的设备基础, 而计算机的系统软件和各种应用软件(统称为软件)是执行控制任务的关键。计算机控制系统的软件不仅决定其硬件功能的发挥, 而且也决定了控制系统的控制品质和操作管理水平。

(1) 系统软件 系统软件是计算机的通用性、支撑性软件, 是为用户使用、管理、维护计算机提供方便的程序的总称。它主要包括操作系统、数据库管理系统、各种计算机语言编译和调试系统、诊断程序以及网络通信等软件。系统软件通常由计算机厂商和专门软件公司研制和提供。计算机控制系统的设计人员一般没有必要自行研制系统软件。