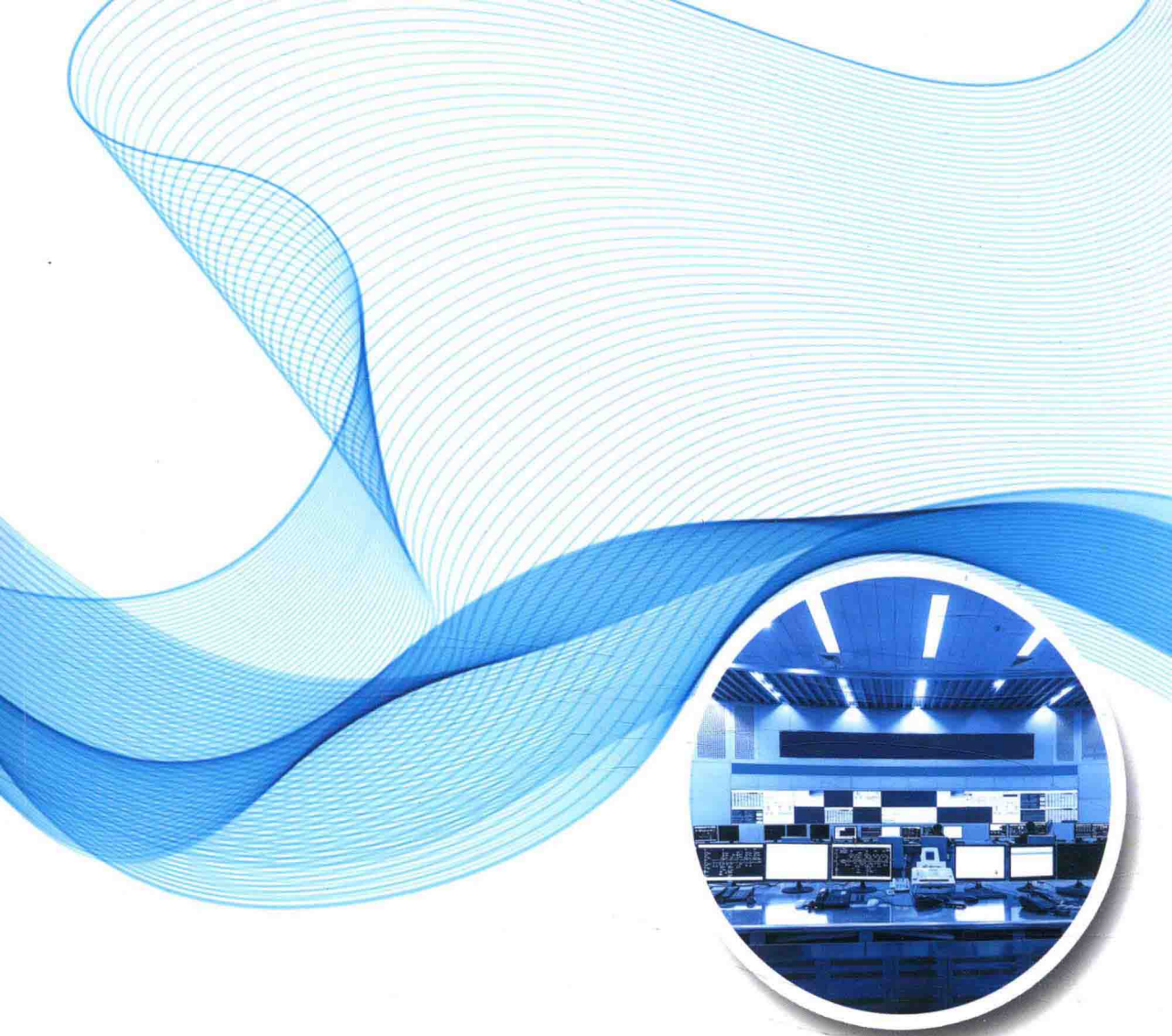




计算机控制技术

主 编 · 周 俊

副主编 · 甘亚辉

COMPUTER

CONTROL TECHNOLOGY



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

Computer Control Technology

计算机控制技术

主 编 周 俊
副主编 甘亚辉



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

内容提要

本书详细阐述了计算机控制系统概况、过程通道配置与数字信号处理、计算机控制系统分析、数字 PID 控制器设计、数字控制器的连续系统方法设计、数字控制器的直接设计、复杂数字控制器设计、数字控制器的状态空间法设计、集散控制系统、现场总线控制系统和计算机控制系统实例,附录还简单介绍了主编独创的虚拟被控对象的计算机控制实验。对于暂时不具备开设复杂计算机控制实验条件的学校,该套实验为读者提供了一种不需要添加任何非计算机设备就能对计算机控制实验改造升级的手段。实验系统为读者提供了一个软件实现的虚拟过程通道和虚拟被控对象平台,能够非常方便和直观地仿真计算机控制系统的实物对象(如 A/D 和 D/A 转换误差;执行器的饱和、死区、变化速率限制;被控对象的动态特性和饱和特性等),因而在该平台上实验比 MATLAB 等仿真实验更接近真实计算机控制系统环境。

本书编写力求层次分明、结构简练、主题突出、由浅入深,计算机控制系统的基本概念和知识的解释准确清晰、介绍简明扼要,注重将计算机控制系统的硬件和软件技术有机地结合起来,重点介绍了计算机控制系统的组成、常规和现代数字控制器设计,介绍了网络多机协调控制技术,通过典型设计使读者深入理解计算机控制系统技术,帮助读者掌握计算机控制技术的主要内容。

本书既可作为高等院校自动控制、自动化、计算机应用、机电一体化等专业及相关专业的高年级本科生教材,也可作为相关专业科技人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术 / 周俊主编. — 南京: 东南大学出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5641-6850-6

I. ①计… II. ①周… III. ①计算机控制
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 273382 号

计算机控制技术

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)

出版人 江建中

责任编辑 姜晓乐(joy_supe@126.com)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 兴化印刷有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15.75

字 数 393 千字

版 次 2016 年 12 月第 1 版

印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-6850-6

定 价 39.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830。

前言 preface

随着计算机技术、电子技术、信息技术等在自动控制系统中的广泛应用,计算机控制技术已经成为自动化及自动化相关学科的一门本科生必修课程。掌握计算机控制系统的基本理论和基本设计方法,掌握计算机对模拟量、开关量、数字量及脉冲量的处理和控制在方法,了解网络多机协调控制技术,掌握计算机控制系统工程应用设计方法,已成为自动化及自动化相关学科本科毕业生的基本要求。本书正是为了迎合该要求,根据教育部“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”和中国工程教育专业认证协会“工程教育认证标准(2015 版)”,结合编者多年从事计算机控制技术教学与科研的经验,将有关的教学和科研成果加以总结提高,并吸收近年来国内外本学科发展的先进理论、方法和技术编写而成。

为了让读者能够全面、系统地掌握计算机控制技术,达到教育部对高等院校相关专业本科毕业生的要求,在编写本教材时,编者力求层次分明、结构简练、主题突出、由浅入深,计算机控制系统的基本概念和知识的解释准确清晰、介绍简明扼要,注重将计算机控制系统的硬件和软件有机地结合起来,注重计算机控制的软件设计及其应用,重点介绍了计算机控制系统的组成、常规和现代数字控制器设计,介绍了集散控制系统和现场总线控制系统技术,通过典型的设计使读者更深入地理解计算机控制系统技术,帮助读者掌握计算机控制系统的关键技术并理解本书内容。

本教材共 11 章,第 1 章计算机控制系统概述,主要介绍了模拟控制向计算机控制的发展,计算机控制系统的构成、分类、基本原理、典型应用和发展趋势;第 2 章过程通道配置与数字信号处理,初步介绍了如何配置计算机过程通道硬件以及如何从硬件和软件两方面提高信号采集精度;第 3 章计算机控制系统分析属于理论基础,第 4、第 5、第 6、第 7 章着重讨论了基于传递函数数学模型的计算机控制系统分析与控制器设计方法,由最常用、最简单的 PID 控制设计开始,到数字控制器的连续系统设计、直接设计和复杂控制系统设计结束,由浅入深,系统地介绍了计算机控制技术的基本设计方法。第 8 章给出了基于状态空间数学模型的分析 and 设计方法,第 9、第 10 章分别介绍集散控制系统和现场总线控制系统技术,最后一章给出了计算机应用于生产过程、运动控制和网络多机协调控制的实例。此外,本书附录还介绍了主编独创的虚拟被控对象计算机控制实验。对于暂时不具备开设复杂计算机控制实验条件的学校,该套实验为使用者提供了一种不需要添加任何非计算机设备就能对计

计算机控制实验改造升级的方法。实验系统为读者提供了一个软件实现的虚拟过程通道和虚拟被控对象平台,在该平台上实验比用 MATLAB 等仿真软件更接近真实计算机控制系统环境。

本教材参考学时为 60 学时,可根据需要选用,建议第 2 章部分内容和第 3 章、第 5 章、第 8 章、第 11 章作为可选内容。本教材的先修课程为“电路基础”“自动控制原理”和“微机原理”。

本书在编写过程中得到了东南大学教务处、自动化学院有关领导和教师的大力支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

为了方便教师教学和与本书作者交流,本书作者将向使用本教材的教学单位提供相关教学资料,并免费赠送虚拟被控对象计算机控制实验软件。

限于编者水平有限,本书难免有纰漏和不当之处,敬请读者批评、指正。

编者
2016 年 3 月

目录contents

第1章 计算机控制系统概述	1
1.1 计算机控制系统的产生及原理	1
1.1.1 模拟控制向计算机控制的发展	1
1.1.2 计算机控制系统的基本工作原理	2
1.2 计算机控制系统的构成	3
1.2.1 计算机控制系统硬件的基本构成	3
1.2.2 计算机控制系统软件的基本组成	4
1.2.3 控制用计算机的主要特点	5
1.3 计算机控制系统的分类	7
1.4 计算机控制系统举例	11
1.4.1 工业炉燃料和空气比率控制系统(生产过程控制)	11
1.4.2 火炮瞄准位置控制系统(运动控制)	11
1.4.3 原料混合和加热控制系统(顺序控制)	12
1.5 计算机控制系统的优缺点和发展趋势	12
1.5.1 计算机控制系统的主要优点和缺点	12
1.5.2 计算机控制系统的发展趋势	13
思考题与习题1	14

第2章 过程通道配置与数字信号处理	15
2.1 信号变换	15
2.1.1 计算机控制系统中信号的分类	15
2.1.2 计算机控制系统中信号的变换	16
2.2 过程通道的硬件选型	18
2.2.1 传感器与变送器的选型	19

2.2.2 执行器与功放接口电路的选型	21
2.2.3 输入/输出通道接口板的选型	23
2.3 过程通道抗干扰技术	24
2.3.1 干扰信号的分类	24
2.3.2 串模干扰的抑制	25
2.3.3 共模干扰的抑制	27
2.4 过程通道数字滤波技术	29
2.5 线性化处理技术	32
2.5.1 算法	33
2.5.2 查表法	33
2.5.3 线性插值法	34
2.6 标度变换技术	36
思考题与习题 2	37

第 3 章 计算机控制系统分析

38

3.1 计算机控制系统的数学模型	38
3.1.1 差分方程	38
3.1.2 Z 变换	38
3.1.3 Z 反变换	40
3.1.4 脉冲传递函数	42
3.2 计算机控制系统的稳定性分析	43
3.2.1 Z 平面和 S 平面的映射关系	43
3.2.2 稳定性判据	45
3.3 离散控制系统的稳态特性分析	46
3.4 离散控制系统的动态特性分析	47
3.4.1 闭环极、零点对系统动态响应的影响	47
3.4.2 离散控制系统的动态响应	49
3.5 计算机控制系统的频率特性分析	50
3.5.1 频率特性定义	50
3.5.2 频率特性分析	50
思考题与习题 3	52

第4章 数字PID控制器设计 53

4.1 标准数字PID控制算法	53
4.1.1 PID控制基本原理	53
4.1.2 标准PID控制数字算式	54
4.1.3 数字PID程序流程图	56
4.2 改进的PID算法	57
4.2.1 带有死区的PID算式	57
4.2.2 抑制积分饱和的PID算法	57
4.2.3 不完全微分的PID算式	60
4.2.4 微分先行PID控制	62
4.3 数字PID控制工程实现的一些问题	62
4.3.1 工程上数字PID控制器程序的组成	62
4.3.2 编程时需要注意的几个问题	63
4.3.3 数字PID控制工程的报警处理	64
4.3.4 自动/手动切换	65
4.4 PID参数整定方法	66
4.4.1 采样周期 T 的选择	66
4.4.2 扩充临界比例度法	67
4.4.3 简化扩充临界比例度法	68
4.4.4 扩充响应曲线法	68
4.4.5 试凑法整定PID控制器参数	69
思考题与习题4	69

第5章 数字控制器的连续系统方法设计 71

5.1 连续系统方法设计数字控制器的原理	71
5.2 数值积分法	72
5.2.1 三种变换公式	72
5.2.2 三种变换法的稳定性分析	76
5.2.3 双线性变换的预扭曲	77
5.3 零极点匹配法	79
5.4 等效保持算法	80
5.4.1 冲击响应不变转换	80

5.4.2 阶跃响应不变转换	81
5.5 设计举例	81
5.6 各种方法的比较	83
思考题与习题 5	84

第 6 章 数字控制器的直接设计 85

6.1 系统性能指标与 Z 域极、零点的关系	85
6.1.1 主导极点在 Z 域样板图中的位置	85
6.1.2 稳态性能指标对控制器在 Z 域极、零点的要求	86
6.1.3 动态性能指标对系统主导极点的要求	87
6.2 Z 平面上的根轨迹法	90
6.3 用解析法进行数字控制器设计	95
6.4 最少拍控制系统的设计	97
6.4.1 最少拍控制系统的基本概念	97
6.4.2 最少拍控制器设计	98
6.4.3 最少拍控制系统的局限性	100
6.5 最少拍无波纹控制系统的设计	102
6.6 非最少的有限拍控制	104
6.7 惯性因子法	105
6.8 大林算法	106
6.8.1 大林基本算法	106
6.8.2 振铃现象的消除	107
思考题与习题 6	110

第 7 章 复杂数字控制器设计 111

7.1 串级控制	111
7.1.1 串级控制的工作原理	111
7.1.2 串级控制系统设计	113
7.1.3 串级控制系统的主要优点	114
7.2 前馈控制	115
7.2.1 前馈控制的工作原理	115
7.2.2 前馈控制系统设计	117
7.3 史密斯(Smith)预估控制	117

7.3.1 史密斯(Smith)预估控制的工作原理	118
7.3.2 史密斯(Smith)预估控制系统设计	119
7.4 比值控制	119
7.4.1 单闭环比值控制	119
7.4.2 双闭环比值控制	120
思考题与习题 7	121

第 8 章 数字控制器的状态空间法设计 122

8.1 线性定常离散系统的状态空间描述	122
8.1.1 状态方程与输出方程	122
8.1.2 连续系统状态空间数学模型的离散化	123
8.1.3 离散系统状态空间数学模型的实现	124
8.2 线性定常离散系统的状态空间分析	128
8.2.1 状态方程的 Z 变换求解	128
8.2.2 系统的稳定性	130
8.2.3 能控性、能达性和能观性	130
8.3 极点配置	131
8.3.1 状态反馈与输出反馈	131
8.3.2 状态反馈的极点配置	132
8.3.3 输出反馈的极点配置	134
8.4 带状态观测器的状态反馈系统设计	135
思考题与习题 8	137

第 9 章 集散控制系统 138

9.1 数据通信与工业网	138
9.1.1 数据通信的基本概念	138
9.1.2 数据传输模式	139
9.1.3 异步传输与同步传输	140
9.1.4 差错控制技术	142
9.1.5 网络拓扑结构	143
9.1.6 网络通信协议	146
9.2 集散控制系统的产生	148
9.3 集散控制系统的基本构成	149

9.3.1 分散过程控制级	149
9.3.2 集中操作监控级	151
9.4 集散控制系统的主要特点	152
9.5 集散控制系统设计	153
9.6 SCADA 系统简介	156
9.6.1 系统概述	156
9.6.2 SCADA 系统体系结构	157
9.6.3 SCADA 系统与 DCS 的主要区别	159
9.7 计算机集成制造系统(CIMS)简介	160
9.7.1 系统概述	160
9.7.2 CIMS 的体系结构	160
9.7.3 CIMS 与 DCS 的主要区别	162
9.8 集散控制系统的发展趋势	162
思考题与习题 9	163

第 10 章 现场总线控制系统 164

10.1 现场总线控制系统的基本概念	164
10.2 现场总线的体系结构	165
10.3 现场总线智能仪表	166
10.4 现场总线控制系统的特点与优势	168
10.4.1 FCS 与 DCS 的比较	168
10.4.2 现场总线控制系统的技术特点	169
10.4.3 现场总线控制系统的主要优点	169
10.5 几种典型的现场总线	170
10.5.1 基金会现场总线(FF)	171
10.5.2 过程现场总线(Profibus)	172
10.5.3 局部操作网络(LonWork)	175
10.5.4 控制局域网络(CAN)	175
10.5.5 可寻址远程传感器数据通路(HART)	176
10.6 工业以太网与实时以太网简介	177
10.6.1 工业以太网概述	177
10.6.2 几种工业以太网协议简介	178
10.6.3 实时以太网的产生	179

10.6.4 几种实时以太网通信协议简介	180
10.7 现场总线的主要产品	184
思考题与习题 10	185
第 11 章 计算机控制系统实例	186
11.1 锅炉计算机控制系统	186
11.1.1 锅炉生产工艺简介	186
11.1.2 锅炉控制方案	187
11.1.3 锅炉控制系统结构	189
11.1.4 锅炉控制系统软件设计	191
11.2 钢筋卷绕控制系统	192
11.2.1 钢筋卷绕控制工艺简介	192
11.2.2 传感器和执行元件的选择	193
11.2.3 控制系统基本结构	198
11.2.4 关键功能模块控制器设计	200
11.3 某焦化企业 DCS 系统	200
11.3.1 系统工艺流程与控制需求	200
11.3.2 系统硬件配置	203
11.3.3 系统软件配置	205
11.3.4 系统组态编程	207
11.3.5 部分组态界面举例	208
11.4 无人靶机单片机控制系统	211
11.4.1 系统基本组成和功能需求	211
11.4.2 系统控制器设计	212
11.4.3 系统软件设计	214
11.5 智能家居控制系统	215
11.5.1 智能家居控制需求	215
11.5.2 设计原则	216
11.5.3 系统组成与主要功能	216
附录 A 部分函数拉氏变换与 Z 变换对照表	219

附录 B 基于虚拟实验平台的计算机控制实验简介	220
B.1 基于虚拟实验平台的计算机控制实验基本原理	220
B.2 虚拟被控对象简介	221
B.3 虚拟输入/输出过程通道简介	226
B.4 基于虚拟实验平台的计算机控制实验编程指导	228
B.5 实验一 虚拟被控对象计算机 PID 控制实验指导书	230
B.6 实验二 虚拟被控对象大林算法控制实验指导书	232
B.7 实验三 计算机前馈与反馈相结合控制实验指导书	235
参考文献	238

第 1 章 计算机控制系统概述

随着计算机应用的普及、高可靠性和低成本化,人们越来越多地用计算机来实现工业的自动控制。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,对动态系统进行调节和控制,这是对自动控制系统所使用的技术装备的一种革新。这一革新,改变了自动控制系统的结构,也导致对这类系统的分析和设计较经典的时间连续系统控制发生较多的变化。由于计算机控制的优越性及其良好的发展前景,掌握分析、设计这一类系统的理论和方法,实现对实际对象或过程的控制就成为高等学校有关专业学生的必备知识。

本章主要介绍计算机控制系统的产生及原理、计算机控制系统的构成和分类、计算机控制的典型应用和计算机控制系统的发展趋势。

1.1 计算机控制系统的产生及原理

1.1.1 模拟控制向计算机控制的发展

在传统自动控制系统中,信号一般为时间连续信号,这样的系统我们称其为模拟控制系统(或连续控制系统)。典型的模拟控制系统闭环结构如图 1.1 所示。

测量元件(也叫传感器)对被控对象的输出 y (如温度、压力、流量、转速、位移等)进行测量得到电信号,变送单元将该信号变成可与给定信号 r 相比较的电压或电流信号,反馈给控制器。比较单元将给定信号 r 与反馈信号比较得到偏差 e ,控制器根据偏差 e 产生控制信号 u 去修正执行器的动作,使得被控对象的输出 y 达到预定的要求。模拟控制系统中的控制器是由硬件电路构成的,如果控制器不能较好地控制被控量,必须改变控制器的硬件结构。

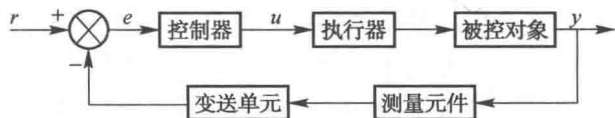


图 1.1 模拟控制系统闭环结构图

如果把图 1.1 中的比较单元和控制器用计算机来代替,就可构成典型的计算机控制系统,如图 1.2 所示。

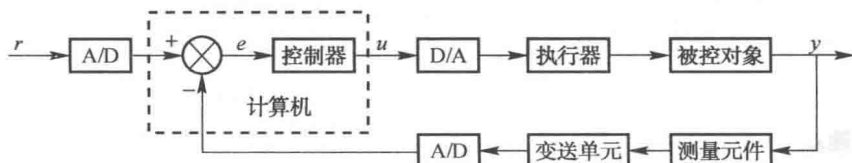


图 1.2 计算机控制系统基本框图

在控制系统中引进计算机,可以充分利用计算机的运算、逻辑判断和记忆等功能。被控对象的输出 y 经测量元件和变送单元转换成统一的标准信号送到 A/D 转换器进行模拟量/数字量的转换,转换后的数字量通过接口送入计算机,经计算机软件处理后得到反馈数字信号。计算机通过 A/D 接口电路采集给定信号 r 得到给定数字信号,并将该信号与反馈数字信号比较得到偏差 e ,然后计算机可以对偏差 e 用一定的控制规律(如 PID 算法)进行运算,得到控制信号 u 。再经 D/A 转换器将数字信号 u 转换成模拟控制信号输出到执行器,执行器动作使得被控对象的输出 y 达到预定的要求。显然,计算机控制系统要改变控制规律只需要修改计算机程序即可,而不用像模拟控制系统那样改变硬件结构。

计算机控制系统中的计算机是广义的,可以是工业控制计算机、嵌入式计算机、可编程控制器、单片机系统、数字信号处理器等。

1.1.2 计算机控制系统的基本工作原理

计算机控制就是对被控对象的有关输出参数进行采样并转换成统一的标准信号,通过输入通道将模拟量和数字量表示的各种参数信息传送给计算机,计算机将这些信息和期望的给定信息比较,按照预先规定的控制规律进行运算和处理,并通过输出通道输出运算结果,使运算结果以模拟量或数字量的形式去控制被控对象,进而使被控的参数达到预期的目标。

从本质上来看,计算机控制系统的工作过程可以归纳为以下三个方面:

(1) 实时数据采集:对被控对象的瞬时输出值及时进行检测和采集,并经计算机软件处理后得到反映被控对象状态的反馈信息。

(2) 实时控制决策:首先,必要时计算机会根据实时采集的数据判断是否要进行越限报警和事故预告报警;其次,计算机将采集到的给定信号与实时采集的反馈信号进行比较得到偏差,然后按照一定的控制规律产生控制信号,及时作出控制决策。

(3) 实时控制输出:根据控制决策,对执行机构发出控制信号,完成控制任务。

系统中的计算机要按顺序连续不断地重复以上几个步骤的操作,保证整个系统能按预定的性能指标要求正常运行。

上述过程中的实时概念是指信号的输入、计算决策和输出都要在一定的时间(采样周期)内完成,控制系统应能在采样周期内及时地检测偏差、纠正偏差,达到规定的要求,超出了这个采样周期时间,系统就会失去控制的时机。但是,“实时”不等于“同时”,因为从被控参数的采集到控制输出作出反应,是需要经历一段时间的,即存在一个实时控制的延迟时间,该时间的长短反映实时控制的速度,被称为采样周期。只要该时间足够短,不至于错过控制的时机,便可认为该系统具有实时性。不同的控制过程对实时控制速度的要求是不同的。例如,控制运动中的电机转速和移动部件位移的暂态过程很短,一般要求采样周期较短,这类控制常被称为快过程的实时控制;而热工、化工类的温度、流量等过程往往是一些慢变化的过程,对它们的控制采样周期往往可以适当长一些。

采样周期在正常情况下包含数据采集、控制决策和控制输出三个步骤所需时间之和,其中控制决策部分所花时间占的比例一般最大,因此要合理选择控制算法、优化控制程序结构和选用运算速度较高的计算机。

在计算机硬件选型方面一般应配备有实时时钟和优先级中断处理电路的微型计算机；在软件编程方面，中断处理程序、实时时钟、中断优先级管理是保证微机控制系统实时性的常用手段。

1.2 计算机控制系统的构成

1.2.1 计算机控制系统硬件的基本构成

由于被控对象千差万别，计算机完成的控制任务不同，对控制要求和使用设备会有不同的需求。各个计算机控制系统的具体组成是千差万别的，有的是多机网络结构，但从原理上说，与单机计算机控制系统类似，都具有共同的结构特点。

典型的计算机控制系统的硬件结构如图 1.3 和 1.4 所示。图 1.3 所示 I/O 通道(AO板、DO板、AI板和DI板)是插在计算机主机扩展槽之中，图 1.4 所示 I/O 通道(AO单元、DO单元、AI单元和DI单元)是通过外部串行总线与计算机主机相连，两者其他结构基本没有差别。计算机控制系统一般由计算机主机单元、人机接口单元、被控对象和输入/输出通道组成。

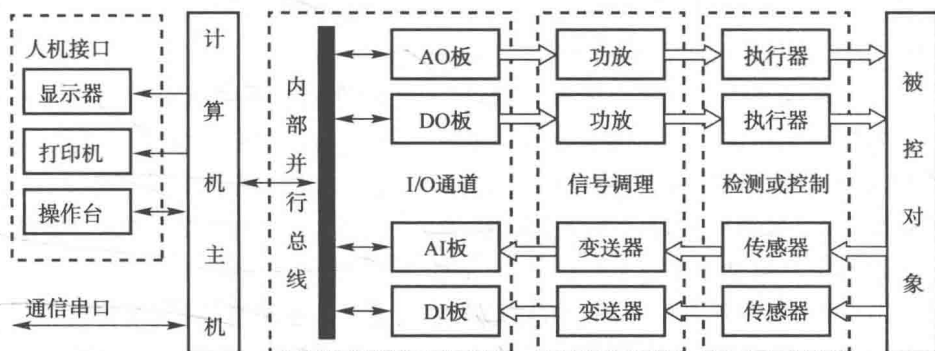


图 1.3 基于内部总线计算机控制系统硬件组成基本结构图

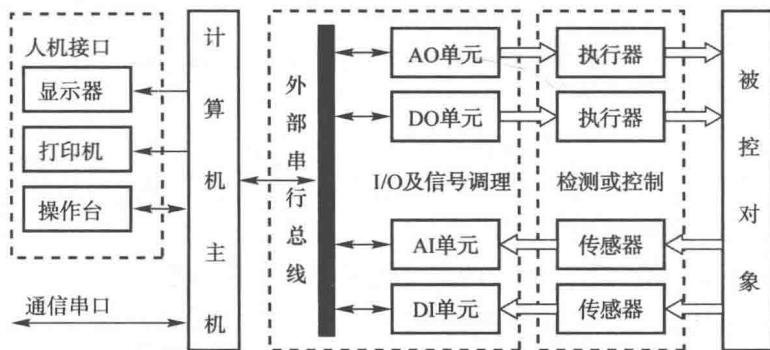


图 1.4 基于外部总线计算机控制系统硬件组成基本结构图

1) 主机单元

主机单元由中央处理器(CPU)、内存储器(RAM、ROM)和接口电路等组成，有的主机

单元还会带外部存储器(如硬盘)。主机单元是整个系统的指挥部,通过接口和软件可以向系统的各个部分发出命令。根据输入通道送来的被控对象的状态参数,进行巡回检测、信息处理、分析、计算,按照某种控制规律作出控制决策,通过输出通道发出控制命令,等等。

2) 输入/输出通道

输入/输出通道是位于计算机和被控对象之间的过程通道,用来实现控制计算机与被控对象之间的信息传送与转换。按照信号传送的形式,输入/输出通道(过程通道)可以分为模拟量通道和数字量通道;按照传送信号的方向,过程通道可以分为输入通道和输出通道。因此过程通道有:模拟量输入通道、数字量输入通道、模拟量输出通道和数字量输出通道。

被控对象的被控参数一般为连续变化的非电物理量,在模拟量输入通道中先通过传感器把被控参数转换成连续变化的模拟电量信号,再通过变送器将传感器输出的电信号转换成标准的电信号送入 AI 板进行 A/D 转换,把模拟信号转换成计算机能够接收的数字量送入计算机,该数字量经计算机软件处理后即可作为被控对象的输出反馈信号。计算机通过接口电路采集给定信号(操作台信号或通讯串口等信号),并将该信号与反馈数字信号进行比较,得到偏差信号,然后用一定的控制规律计算得到数字控制信号,经模拟量输出通道控制被控参数。模拟量输出通道首先通过 AO 板的 D/A 转换器将数字控制信号转换成连续的模拟量控制信号,再经模拟量功放接口电路对信号功率放大去控制可连续动作的执行器动作,进而控制被控对象的参数变化。

如果计算机控制系统中有多个被控参数,那么在硬件结构图中就对应有多路模拟量输入通道和模拟量输出通道。在模拟量输入通道中 AI 一般有多路 A/D 转换开关,用于选择哪路信号送入 A/D 转换器进行转换。和模拟量输入通道类似,模拟量输出通道 AO 也可能加入反多路开关,用来选择从 D/A 转换器输出的信号中哪一路驱动功放和执行器动作。

数字量通道主要用来传送数字量信号,它的作用是:除了完成编码数字输入/输出以外,还可将各种继电器、限位开关等的状态通过数字输入通道传送给计算机,或将计算机发出的开关动作逻辑信号经由数字输出通道传送给运行装置中的各个电子开关或电磁开关等。

3) 人机接口单元

人机接口单元主要包括显示器、打印机和操作台等。

显示器和打印机等输出设备可以把各种信息和数据以曲线、字符、数字等形式提供给操作人员,以便及时了解控制过程。

操作台是操作人员与计算机控制系统进行联系的平台,通过它可以向计算机输入程序,修改内存数据,显示被测参数和发出各种操作命令等。操作台一般至少包含下面三种装置:

- (1) 显示器:显示系统的运行状态;
- (2) 功能按钮:利用它,操作人员可输入或修改控制参数或发出命令;
- (3) 数字键盘:其作用与“功能按钮”相同。

1.2.2 计算机控制系统软件的基本组成

计算机控制系统除了 1.2.1 节所述的硬件以外,软件也是必不可少的。软件是指计算机中使用程序的总称。软件通常可分为系统软件和应用软件。