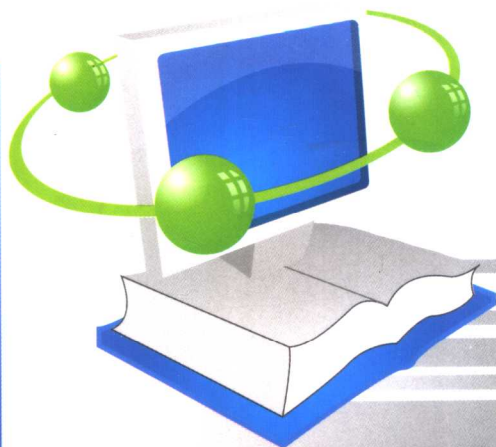


21st CENTURY  
十一五规划教材

21世纪全国高等院校

自动化系列 实用规划教材



# 集散控制系统

主 编 刘翠玲 黄建兵  
副主编 孟亚男 佟 威

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

# 集散控制系统

主 编 刘翠玲 黄建兵  
副主编 孟亚男 佟 威



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House

## 内 容 简 介

本书是《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》之一。

集散控制系统是当前先进工业控制系统主要结构形式。在高校, 集散控制系统是最接近实际生产过程的一门专业课程。

全书共分 7 章, 第 1 章绪论介绍了计算机控制系统的基本内容、分类及发展概况, 着重论述了集散控制系统的特点与性质。第 2 章介绍了集散控制系统的体系结构。第 3 章着重讲述了集散控制系统的硬件系统。第 4 章简单介绍了集散控制系统的软件系统组成、结构和主要设备。第 5 章着重讲述了集散控制系统的通信网络系统, 主要内容有工业数据数字通信基本原理、集散控制系统中的控制网络标准和协议及现场总线。第 6 章介绍了集散控制系统的性能指标。第 7 章对集散控制系统的工程设计技术与应用实例进行了探讨, 列举了实际的集散控制系统的应用。

编写本书时, 作者力求讲清系统的基本概念、原理、特点及方法, 本着实用的原则, 侧重于工程应用, 每章后均附有习题, 便于读者掌握所学内容。

本书适合 32~48 学时的本科高年级或研究生的专业选修课使用, 也适合高职学生参考使用, 还可以作为主管部门对自动化从业人员的培训教材, 对从事自动控制工程、自动化系统的科技人员也是很好的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

集散控制系统/刘翠玲, 黄建兵主编. —北京: 中国林业出版社; 北京大学出版社, 2006.9

(21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4406-X

I. 集… II. ①刘… ②黄… III. 集散系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090840 号

书 名: 集散控制系统

著作责任者: 刘翠玲 黄建兵 主编

策划编辑: 李 虎

责任编辑: 李娉婷 曹 岚 张 敏

标准书号: ISBN 7-5038-4406-X

出 版 者: 北京大学出版社(地址: 北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

中国林业出版社(地址: 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: [cfphz@public.bta.net.cn](mailto:cfphz@public.bta.net.cn)

电话: 总编室 66180373 营销中心 66187711

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 373 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

# 《21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

## 专家编审委员会

主任委员 张德江

副主任委员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈 静 丁坚勇 侯媛彬

纪志成 任庆昌 吴 斌

秘书长 于微波

委 员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈志新 戴文进 段晨旭 樊立萍

范立南 公茂法 关根志 嵇启春

蒋 中 雷 霞 刘德辉 刘永信

刘 原 马永翔 孟祥萍 孟彦京

聂诗良 王忠庆 吴旭云 燕庆明

杨新华 尤 文 张桂青 张井岗

# 总 序

我们所处的时代被称为信息时代。信息科学与技术的迅速发展和广泛应用，深深地改变着人类生产、生活的各个方面。人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学与技术的发展。自动化科学与技术涉及到信息的检测、分析、处理、控制和应用等各个方面，是信息科学与技术领域的重要组成部分。在我国经济建设的进程中，工业化是不可逾越的发展阶段。面对全面建设小康社会的发展目标，党和国家提出走新型工业化道路的战略决策，这是一条我国当代工业化进程的必由之路。实现新型工业化，就是要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的可持续发展的科学发展之路。在这个过程中，自动化科学与技术起着不可替代的重要作用，高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命。

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35%~40%，其中自动化类的学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一。在我国高等教育已走进大众化阶段的今天，人才培养模式多样化已成为必然的趋势，其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求最多的一大类人才。为了促进自动化领域应用型人才培养，发挥院校之间相互合作的优势，北京大学出版社组织了此套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》。

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者，由此确定了教材的使用范围，也为“实用教材”的定位找到了落脚点。本系列教材具有如下特点：

(1) 注重实用性。地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型，对这一大类人才的培养要注重面向工程实践，培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。从这一教学原则出发，本系列教材注重实用性，注意引用工程中的实例，培养学生的工程意识和工程应用能力，因此将更适合地方工科院校的教学要求。

(2) 体现新颖性。更新教材内容，跟进时代，加入一些新的先进实用的知识，同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(3) 院校间合作交流的果。每一本教材都有几所院校的教师参加编写。北大出版社事先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会，来自各院校的教师比较充分地交流了情况，在相互借鉴、取长补短的基础上，形成了编写大纲，确定了编写原则。因此，这一系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和作法。

(4) 这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的各门课程，到目前为止，列入计划的已有 30 多门，教材门数多，参与的院校多，参加编写人员多。

地方工科院校是我国高等院校中比例最大的一部分。本系列教材面向地方工科院校自动化类专业教学之用，将拥有众多的读者。教材专家编审委员会深感教材的编写质量对教学质量的重要性，在审纲会上强调了“质量第一，明确责任，统筹兼顾，严格把关”的原则，要求各位主编加强协调，认真负责，努力保证和提高教材质量。各位主编和编者也将尽职尽责，密切合作，努力使自己的作品受到读者的认可和欢迎。尽管如此，由于院校之间、编者之间的差异性，教材中还是难免会出现一些问题和不足，欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议。

张德江

2006年1月

# 前 言

《集散控制系统》是《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》之一。

集散控制系统(DCS)是实现工业自动化和企业信息化的最好系统平台, DCS 自 1975 年出现, 随着电子、计算机软硬件、网络技术的发展, 其技术平台的水平也不断提高, 引入我国以来, 为大型工业生产装置的自动化水平的提高做出了突出贡献, 成为当今工业过程控制的主流。由于这门技术发展和更新很快, 所以要求使用者具有计算机使用能力和不断学习的能力。

本书充分重视实际的控制工程设计能力的培养, 着重集散控制系统的概念、原理、结构、设计与实际应用的基本性、通用性, 使学生通过课堂学习, 或自学本书也能基本掌握集散控制系统的原理、工程设计的方法。编者根据自动化技术近年来的发展情况, 结合从事科研、教学和工程实践工作的体会, 依据教学规律, 查阅了大量的控制工程领域的资料, 并吸取了国内外相关著作的优点, 在内容上进行了精心编写与多次修改, 集百家之长于一书, 抓住集散控制系统的知识体系, 循序渐进, 讲清系统的基本概念、原理、特点及方法, 强调理论联系实际, 每章后均附有习题, 便于读者掌握所学内容。力争使其成为一部比较实用的集散控制系统的快速入门的教科书。因此, 该教材层次较清晰, 实用性强。

全书共分 7 章, 第 1 章绪论介绍了计算机控制系统的基本内容、分类及发展概况, 着重论述了集散控制系统的特点与性质。第 2 章介绍了集散控制系统的体系结构。第 3 章着重讲述了集散控制系统的硬件系统。第 4 章介绍了集散控制系统的软件系统组成、结构和主要设备。第 5 章讲述了集散控制系统的通信网络系统, 主要内容有工业数据数字通信基本原理、集散控制系统中的控制网络标准和协议及现场总线。第 6 章介绍了集散控制系统的性能指标。第 7 章对集散控制系统的工程设计技术与应用实例进行了探讨。

本书适合作为工科院校的自动化、电气工程及自动化等相关专业的本科高年级或研究生的专业选修课使用教材或教学参考书; 也适合相关专业的高职学生参考使用, 还可以作为主管部门对自动化从业人员的培训教材; 也可作为从事各类自动化系统、电气、计算机网络、自动控制工程等的科技人员的参考书。

本书由刘翠玲、黄建兵任主编, 孟亚男、佟威任副主编。第 1 章、第 2 章由刘翠玲编写, 第 3 章和附录由孟亚男编写, 第 4 章、第 7 章由黄建兵编写, 第 5 章、第 6 章由佟威编写, 方平同志也参加了本书的部分编写工作。同时得到了北京工商大学、陕西科技大学、吉林化工学院、西安建筑科技大学的有关同志从各方面给予的热情支持和帮助。

限于作者水平和实践经验, 书中可能有不少缺点和错误, 恳请读者批评、指正。

编 者  
2006 年 6 月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机控制系统基础知识	1
1.1.1 计算机控制系统的一般概念	1
1.1.2 计算机控制系统内的信号变换	4
1.1.3 计算机控制系统的分类	6
1.1.4 计算机控制系统的发展概况与趋势	9
1.1.5 控制计算机的几种机型	9
1.2 计算机控制系统的设计与实现	13
1.2.1 计算机控制系统设计的原则	13
1.2.2 计算机控制系统设计步骤	14
1.3 集散控制系统概述	20
1.3.1 集散控制系统(DCS)概念	20
1.3.2 DCS 的基本组成及特点	22
1.3.3 集散控制系统的发展历程	24
1.4 几种计算机控制系统与 DCS 的比较	29
1.4.1 以 PLC 构成的控制系统监督控制系统	29
1.4.2 监督控制和数据采集系统	31
1.4.3 PC Based 监督/控制系统	32
1.5 DCS 典型产品及特点	33
1.5.1 Honeywell 公司的 TDC-3000 系统	33
1.5.2 ABB 公司的 Industrial IT 系统	34
1.5.3 和利时公司的 HOLLiAS 系统	35
本章小结	36
思考题与习题	36
第 2 章 DCS 的体系结构	37
2.1 DCS 的体系结构形成	37
2.1.1 中央计算机集中控制系统的形成	37
2.1.2 DCS 分层体系结构的形成	38
2.1.3 DCS 的分层体系结构	40
2.2 DCS 分层结构中各层的功能	41
2.2.1 直接控制级	42
2.2.2 过程管理级	42
2.2.3 生产管理级	43
2.2.4 工厂经营管理级	43



2.3 DCS 的构成与联系.....	43
2.3.1 DCS 的基本构成.....	44
2.3.2 DCS 的软件构成.....	49
2.3.3 DCS 的网络结构.....	53
2.4 DCS 的体系结构的技术特点.....	55
2.4.1 信息集成化.....	55
2.4.2 控制功能的进一步分散化.....	56
2.5 DCS 体系结构典型示例.....	56
2.5.1 TDC-3000 型集散控制系统的体系结构.....	56
2.5.2 Centum-XL 系统的体系结构.....	58
2.5.3 I/A Series 系统的体系结构.....	59
2.5.4 INFI-90 系统的体系结构.....	61
2.5.5 MACS 的体系结构.....	63
本章小结.....	64
思考题与习题.....	64
<b>第 3 章 DCS 硬件系统.....</b>	<b>65</b>
3.1 DCS 硬件系统概述.....	65
3.1.1 系统概述.....	65
3.1.2 系统的各层功能.....	66
3.2 DCS 过程控制级.....	68
3.2.1 过程装置控制级的特征.....	68
3.2.2 过程控制级中的智能调节器与可编程控制器.....	68
3.3 现场控制站的结构.....	70
3.3.1 现场控制站的构成.....	70
3.3.2 现场控制站的功能与可靠性维护.....	71
3.3.3 过程控制级和现场控制站的关系.....	74
3.4 DCS 操作员站和工程师站.....	75
3.4.1 中心计算机站.....	75
3.4.2 操作站的功能.....	76
3.4.3 工程师站的功能.....	85
3.5 DCS 的输入/输出设备及原理.....	87
3.5.1 主控制器.....	87
3.5.2 输入/输出设备.....	90
3.5.3 人机接口设备.....	93
本章小结.....	94
思考题与习题.....	94
<b>第 4 章 DCS 的软件系统.....</b>	<b>96</b>
4.1 DCS 软件系统概述.....	96

4.2 DCS 的控制层软件.....	98
4.2.1 控制层软件的功能.....	98
4.2.2 信号采集与数据预处理.....	99
4.2.3 控制编程语言与软件模型.....	107
4.3 DCS 的监督控制软件.....	118
4.3.1 监控层的应用功能设计 <sup>[1]</sup> .....	119
4.3.2 实时数据库.....	130
4.3.3 操作员站软件结构.....	132
4.4 DCS 的组态软件.....	136
4.4.1 实时数据库生成系统.....	137
4.4.2 生产过程流程画面.....	138
4.4.3 历史数据和报表.....	138
4.4.4 控制回路组态.....	139
4.5 DCS 的控制方案.....	139
4.5.1 控制器中的 PID 控制算法及应用.....	139
4.5.2 控制器中的功能块.....	143
本章小结.....	149
思考题与习题.....	150
<b>第 5 章 DCS 的通信网络系统.....</b>	<b>151</b>
5.1 网络和数据通信基本概念.....	151
5.1.1 通信网络系统的组成.....	151
5.1.2 基本概念及术语.....	152
5.2 工业数据通信.....	154
5.2.1 数据通信的编码方式.....	154
5.2.2 数据通信的工作方式.....	156
5.2.3 数据通信的电气特性.....	157
5.2.4 数据通信的传输介质.....	158
5.3 DCS 中的控制网络标准和协议.....	161
5.3.1 计算机网络层次模型.....	161
5.3.2 网络协议.....	162
5.3.3 网络设备.....	166
5.4 现场控制总线.....	171
5.4.1 现场控制总线的产生.....	171
5.4.2 现场控制总线的特点.....	171
5.4.3 现场总线技术介绍.....	172
本章小结.....	178
思考题与习题.....	178

<b>第 6 章 DCS 的性能指标</b> .....	179
6.1 DCS 的可靠性.....	179
6.1.1 可靠度 $R(t)$ .....	179
6.1.2 失效率 $\lambda(t)$ .....	180
6.1.3 平均故障间隔时间(MTBF).....	182
6.1.4 平均故障修复时间(MTTR).....	182
6.1.5 平均寿命 $m$ .....	182
6.1.6 利用率 $A$ .....	182
6.2 提高系统利用率的措施.....	183
6.2.1 提高元器件和设备的可靠性.....	183
6.2.2 提高系统对环境的适应能力.....	184
6.2.3 容错技术的应用.....	184
6.3 DCS 的安全性.....	189
6.3.1 系统的安全性概述.....	189
6.3.2 环境适应性设计技术.....	196
6.3.3 电磁兼容性和抗干扰.....	201
6.3.4 提高电磁兼容性和抗干扰能力的“六大法宝”.....	205
6.3.5 功能安全性设计.....	213
本章小结.....	215
思考题与习题.....	215
<b>第 7 章 DCS 的工程设计技术与应用实例</b> .....	216
7.1 DCS 的工程设计.....	216
7.1.1 方案论证.....	216
7.1.2 方案设计.....	216
7.1.3 工程设计.....	218
7.2 DCS 的安装、调试与验收.....	224
7.2.1 安装、调试.....	224
7.2.2 验收、管理.....	230
7.2.3 维护与二次开发.....	232
7.3 MACS 在薄页纸生产线当中的应用.....	235
7.4 西门子 PCS7 在锅炉控制中的应用.....	239
7.5 PlantScape 系统在 MTBE 装置中的应用.....	242
本章小结.....	245
思考题与习题.....	246
<b>附录一 DCS 工程化设计步骤</b> .....	247
<b>附录二 DCS 的工程应用实施方法</b> .....	249
<b>参考文献</b> .....	250

# 第 1 章 绪 论

集散控制系统(Distributed Control System, DCS)是计算机控制系统的一种结构形式。计算机控制是以自动控制理论和计算机技术为基础的,自动控制理论是计算机控制的理论支柱,计算机技术的发展又促进了自动控制理论的发展与应用。计算机控制系统有多种结构形式,集散控制系统就是其中的一种。本章首先对计算机控制系统的基本概念、分类、发展趋势等作一概述,引出对集散控制系统的概念、组成和特点,然后对几种计算机控制系统与集散控制系统进行比较介绍,对几种典型产品的简单介绍。

## 1.1 计算机控制系统基础知识

### 1.1.1 计算机控制系统的一般概念

计算机控制是关于计算机技术如何应用于工业生产过程自动化的一门综合性学问。计算机控制的应用领域是非常广泛的,从计算机应用的角度出发,工业自动化是其重要的一个领域;而从自动化的领域来看,计算机控制系统又是其主要的实现手段。可以说,计算机控制系统与用于科学计算及数据处理的一般计算机是两类不同用途、不同结构组成的计算机系统。

计算机控制系统是融计算机技术与工业过程控制于一体的综合性技术,它是在常规仪表控制系统的基础上发展起来的。

液位控制系统是一个基本的常规控制系统,结构组成如图 1.1 所示。系统中的测量变送器对被控对象进行检测,把被控量(如温度、压力、流量、液位、转速、位移等物理量)转换成电信号(电流或电压)再反馈到控制器中。控制器将此测量值与给定值进行比较,并按照一定的控制规律产生相应的控制信号驱动执行器工作,使被控量跟踪给定值,从而实现自动控制的目的,原理如图 1.2 所示。

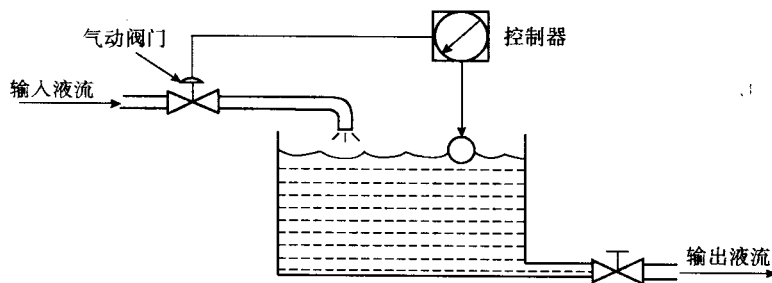


图 1.1 储液罐液位控制系统

即构成了一个典型的计算机控制系统的结构,如图 1.3 所示。把图 1.2 中的控制器用控制计算机即计算机及其输入/输出通道来代替,常把被控对象及一次仪表统称为生产过程。这里,计算机采用的是数字信号传递,而一次仪表多采用模拟信号传递。因此,系统中需

要有将模拟信号转换为数字信号的模/数(A/D)转换器和将数字信号转换为模拟信号的数/模(D/A)转换器。图 1.3 中的 A/D 转换器与 D/A 转换器就表征了计算机控制系统这种典型的输入/输出通道。

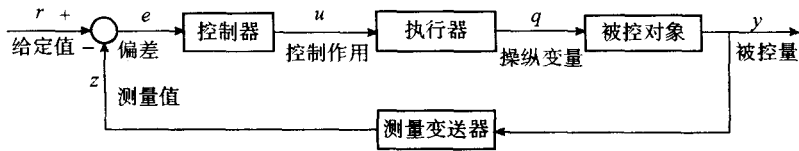


图 1.2 常规仪表控制系统原理框图

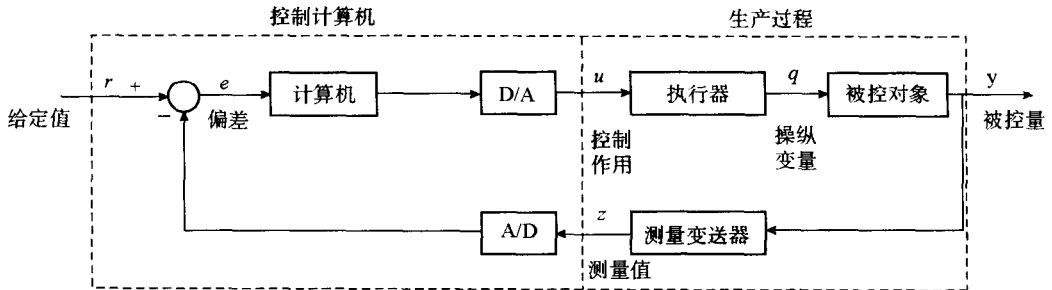


图 1.3 计算机控制系统原理框图

一个完整的计算机控制系统是由硬件和软件两大部分组成的。

1. 硬件组成

计算机控制系统的硬件一般由主机、常规外部设备、过程输入/输出设备、操作台和通信设备等组成，如图 1.4 所示。

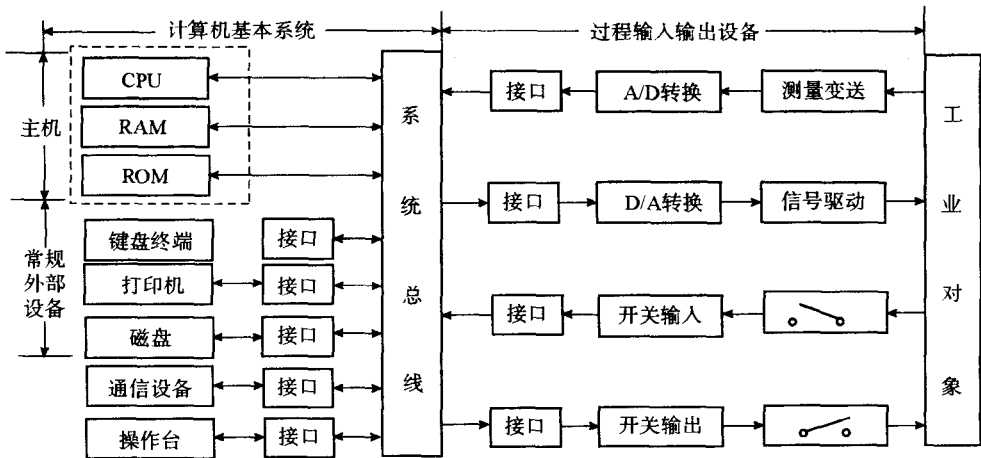


图 1.4 计算机控制系统硬件组成框图

1) 主机

由中央处理器(CPU)、内存储器(RAM、ROM)和系统总线构成的主机是控制系统的核心。主机根据过程输入通道发送来的实时反映生产过程工况的各种信息，以及预定的控制

算法,作出相应的控制决策,并通过过程输出通道向生产过程发送控制命令。

主机所产生的各种控制是按照人们事先安排好的程序进行的。这里,实现信号输入、运算控制和命令输出等功能的程序已预先存入内存,当系统启动后,CPU就从内存中逐条取出指令并执行,以达到控制目的。

## 2) 常规外部设备

常规外部设备由输入设备、输出设备和外存储器等组成。

常规的输入设备有键盘、光电输入机等,主要用来输入程序、数据和操作命令。

常规的输出设备有打印机、绘图机、显示器(CRT显示器或数码显示器)等,主要用来把各种信息和数据提供给操作者。

外存储器有磁盘装置(软盘、硬盘和半导体盘)、磁带装置,兼有输入/输出两种功能,主要用于存储系统程序和数据。

外部设备与主机组成的计算机基本系统(即通常所言的计算机),用于一般的科学计算和管理是可以满足要求的,但是用于工业过程控制,则必须增加过程输入/输出设备。

## 3) 过程输入/输出设备

过程输入/输出设备是在计算机与工业对象之间起着信息传递和转换作用的装置,除了其中的测量变送单元和信号驱动单元属于自动化仪表的范畴外,主要是指过程输入/输出通道(简称过程通道)。

过程输入通道包括模拟量输入通道(简称A/D通道)和数字量输入通道(简称DI通道),分别用来输入模拟量信号(如温度、压力、流量、液位等)和开关量信号(继电器触点、行程开关、按钮等)或数字量信号(如转速、流量脉冲、BCD码等)。

过程输出通道包括模拟量输出通道(简称D/A通道)和数字量输出通道(简称DO通道),D/A通道把数字信号转换成模拟信号后再输出,DO通道则直接输出开关量信号或数字量信号。

## 4) 操作台

操作台是操作员与系统之间进行人机对话的信息交换工具,一般由CRT显示器(或LED等其他显示器)、键盘、开关和指示灯等构成。操作员通过操作台可以了解与控制整个系统的运行状态。

操作员分为系统操作员与生产操作员两种。系统操作员负责建立和修改控制系统,如编制程序和系统组态;生产操作员负责与生产过程运行有关的操作。为了安全和方便,系统操作员和生产操作员的操作设备一般是分开的。

## 5) 接口电路

主机与外围设备(包括常规外部设备和过程通道)之间,因为外设结构、信息种类、传送方式、传送速度的不同而不能直接通过总线相连,必须通过其间的桥梁——接口电路来传送信息和命令。计算机控制系统有各种不同的接口电路,一般分为并行接口、串行接口、管理接口和专用接口等几类。

## 6) 通信设备

现代化工业生产过程的规模一般比较大,其控制与管理也很复杂,往往需要几台或几十台计算机才能分级完成控制和管理任务。这样,在不同地理位置、不同功能的计算机之间就需要通过通信设备连接成网络,以进行信息交换。

## 2. 软件组成

上述硬件只能构成计算机控制系统的躯体。要使计算机正确地运行以解决各种问题，必须为它编制各种程序。软件是各种程序的统称，是控制系统的灵魂。因此，软件的优劣直接关系到计算机的正常运行、硬件功能的充分发挥及其推广应用。软件通常分为系统软件和应用软件两大类。

系统软件是一组支持系统开发、测试、运行和维护的工具软件，核心是操作系统，还有编程语言等辅助工具。在计算机控制系统中，为了满足实时处理的要求，通常采用实时多任务操作系统。在这种操作环境下，要求将应用系统中的各种功能划成若干任务，并按其重要性赋予不同的优先级，各任务的运行进程及相互间的信息交换由实时多任务操作系统协调控制。另外系统提供的编程语言一般为面向过程或对象的专用语言或编译类语言。系统软件一般由计算机厂商以产品形式向用户提供。

应用软件是系统设计人员利用编程语言或开发工具编制的可执行程序。对于不同的控制对象，控制和管理软件的复杂程度差别很大。但在一般的计算机控制系统中，以下几类功能模块是必不可少的：过程输入模块、基本运算模块、控制算法模块、报警限幅模块、过程输出模块、数据管理模块等。

作为系统设计人员只有首先了解并会使用系统软件，才能编制出较好的应用软件。而设计开发应用软件，已成为当前计算机控制应用领域中最重要的一个方面。

### 1.1.2 计算机控制系统内的信号变换

如上所述，一个计算机控制系统主要是由计算机基本系统与过程输入输出通道两大部分组成。它的工作过程就是通过过程输入通道把反映生产过程的模拟或数字信号采集进来，在计算机中进行运算和处理，再把控制结果经过程输出通道传送回生产过程中去。简言之，计算机控制系统的工作过程就是信号的采集、处理和输出的过程。

然而，来自生产过程中的信息大多数是模拟信号，而计算机只能接受和处理数字信号。因此，在计算机控制系统中必须解决这两种信号的相互转换问题。

由模拟信号到数字信号的转换以及由数字信号到模拟信号的转换，主要包含信号的采样、量化和保持几个过程。

计算机控制系统的信号流程如图 1.5 所示，其中包含四种信号：模拟信号  $y(t)$ ——时间上连续和幅值上也连续的信号；离散模拟信号  $y^*(t)$ ——时间上离散而幅值上连续的信号；数字信号  $y(kT)$  或  $u(kT)$ ——时间上离散和幅值上离散量化的信号；量化模拟信号  $u(t)$ ——时间上连续而幅值上连续量化的信号。这些信号之间的转换是通过采样保持器(S/H)、模/数(A/D)转换器和数/模(D/A)转换器等硬件来实现的。

#### 1. 信号的采样

信号的采样过程如图 1.6 所示。把时间和幅值上均连续的模拟信号，按一定的时间间隔转变为在瞬时  $0, T, 2T, \dots, kT$  的一连串脉冲序列信号的过程称为采样过程或离散过程。执行采样动作的装置叫采样器或采样开关，采样开关每次通断的时间间隔称为采样周期  $T$ ，采样开关每次闭合的时间称为采样时间或采样宽度。常把采样开关的输入信号  $y(t)$  称为原信

号, 采样开关的输出信号  $y^*(t)$  则称为采样信号。在实际系统中,  $\tau \ll T$ , 也就是说, 可以近似地认为采样信号  $y^*(t)$  是  $y(t)$  在采样开关闭合时的瞬时值。

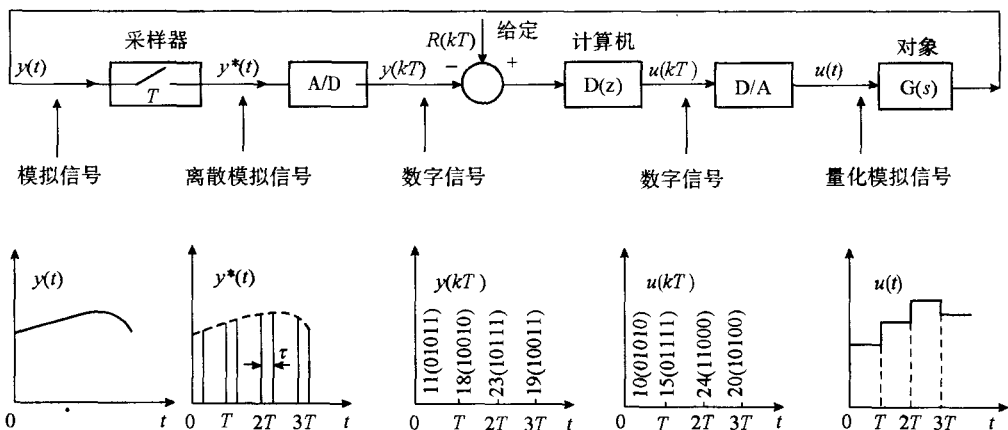


图 1.5 计算机控制系统的信号流程

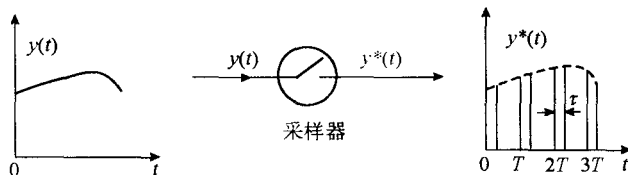


图 1.6 采样过程

比较  $y(t)$  和  $y^*(t)$  可以看出, 在采样过程中某些信息似乎丢失了。那么采样信号  $y^*(t)$  是否能如实地反映原信号  $y(t)$  的所有变化与特征呢? 香农(Shannon)采样定理指出: 为了使采样信号  $y^*(t)$  能完全复现原信号  $y(t)$ , 采样频率  $f$  至少要为原信号最高有效频率  $f$  (包括噪声干扰在内) 的 2 倍, 即  $f \geq 2f_{\max}$ 。采样定理给出了  $y^*(t)$  唯一地复现  $y(t)$  所必需的最低采样频率。实际应用中, 常取  $f \geq (5 \sim 10)f_{\max}$ 。

## 2. 信号的量化

时间上离散而幅值上连续的采样信号仍不能直接进入计算机中, 还需要进一步将这种采样信号转换为数字信号, 人们把这一转换过程称为量化过程。从理论上讲, 连续信号的分辨率是无限高的, 也就是说, 必须用无限多个数值才能准确表示连续信号。在计算机中, 信号是以有限字长的二进制数字表示的, 因此, 在量化过程中不可避免地存在着量化误差。

执行量化过程的装置是 A/D 转换器。设 A/D 转换器的字长为  $n$ , 当把  $Y_{\min} \sim Y_{\max}$  范围内变化的采样信号变换为数字  $0 \sim 2^n - 1$  时, 其最低有效位(LSB)所对应的模拟量  $q$  称为量化单位。

$$q = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{2^n - 1} \quad (1-1)$$

量化过程实际上是一个用  $q$  去度量采样信号幅值高低的小数归整过程, 如同用单位长度(mm 或其他)去度量人的身高一样, 量化误差可用  $\pm(1/2)q$  表示。显然, 对于同样范围内



变化的采样信号，A/D 转换器的字长  $n$  越大，其最低有效位(LSB)所对应的量化单位  $q$  就越小，量化误差也就越小。

当 A/D 转换器的字长  $n$  足够大，量化误差足够小时，就可以认为量化后的数字信号近似等于采样信号，这时就可以沿用采样系统理论，来进行数字控制系统的分析。

### 3. 信号的保持

由于采样信号仅在采样时间有输出幅值，而其余时刻均输出为零。所以，在两次采样的中间时刻，无论是 A/D 转换，还是 D/A 转换，都有一个信号如何保持的问题。

在两次采样的间隔时间内，根据采样信号而复现原信号的装置称为保持器。当用常数、线性函数和抛物线函数去逼近两个采样时刻之间的原信号时，分别称为零阶保持、一阶保持和高阶保持。

零阶保持器是最常用的一种信号保持器，信号的保持过程如图 1.7 所示。它把当前采样时刻  $kT$  的采样值  $y(kT)$ ，简单地按常数外推，直到下一个采样时刻  $(k+1)T$ ，然后再按新的采样值  $y[(k+1)T]$ 再继续按常数外推。

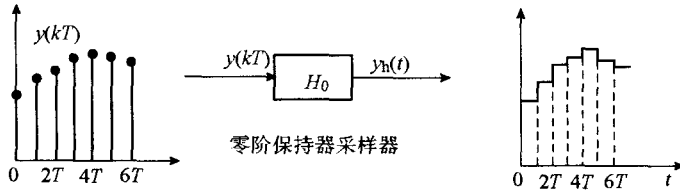


图 1.7 零阶保持器

由零阶保持器将采样信号  $y(kT)$  恢复成原信号  $y(t)$  的过程如图 1.8 所示。显然，只有当采样周期  $T$  足够小(采样频率足够大)时，复原信号  $y_h(t)$  才会比较接近原信号  $y(t)$ 。根据零阶保持器的特性，可知其传递函数为

$$H(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \tag{1-2}$$

式中， $T$  为采样周期， $S$  为拉普拉斯(Laplace)运算算子。在计算机控制系统中，转换器一般都具有零阶保持器的功能。

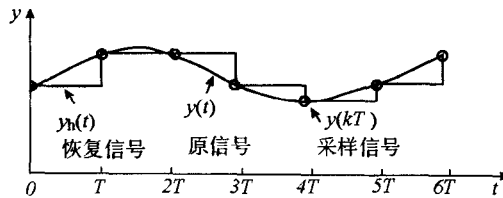


图 1.8 零阶保持器的信号恢复

### 1.1.3 计算机控制系统的分类

计算机控制系统与所控制的生产过程密切相关，根据生产过程的复杂程度和工艺要求的不同，系统设计者可采用不同的控制方案。现从控制目的、系统构成的角度介绍几种不同类型的计算机控制系统。